

(97)電返國報字第 127 號出國報告

行政院及所屬各機關因公出國報告書

(出國類別：實習)

參加美國德州大學阿靈頓分校能源系統研究中心

電力系統研習班

出國報告

服務機關：台灣電力公司

出國人員：

姓名	職稱	單位	姓名代號	出國計畫
林昭琦	電機工程監	電力調度處	026955	97 年度 第 127 號

出國地區：美國

出國期間：97 年 12 月 29 日至 98 年 6 月 26 日

報告日期：98 年 8 月 24 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國德州大學阿靈頓分校能源系統研究中心電力系統研
習班

頁數 75 含附件 是 否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

林昭琦	台灣電力公司	電力調度處	電機工程監	02-2366-6615
-----	--------	-------	-------	--------------

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：

出國期間：97年12月29日至98年6月26日 出國地區：美國

報告日期：96年8月24日

分類號／目

關鍵詞：全黑起動(Black Start)、德州電力可靠性委員會 (Electric Reliability Council of Texas, ERCOT)、能源系統研究中心 (Energy Systems Research Center, ESRC)

內容摘要：

電力是國家能源的重要支柱和經濟命脈，亦是維繫國安全和社會安定的重要依據，如何依系統特性制訂完整可行的全黑起動計畫，是保證電力系統安全穩定運轉及供電可靠的重要議題。電力系統一旦發生全停電事故，將造成國家安全的嚴重衝擊和社會經濟的嚴重損失，倘若能在最短的時間內迅速恢復供電，便可將此類事故的衝擊和損失降至最低。一般來說，大部分電力系統運轉人員均缺乏電力網路全停電事故的處理經驗，因此有必要確定系統復電的基本原則和擬定完整的復電操作計

畫，使系統復電有條不紊且快速無誤的進行。

本文首先針對北美電力市場概況作一簡單介紹，包括電力市場運轉、管理、監督的相關組織和權責；再將德州電力發展現況及 ERCOT 的組織、結構、發展概況及德州自由市場中的輔助服務市場、能量市場、壅塞管理等運作方式作一詳細的介紹；其次以美國德州 ERCOT 電力市場的實際運作現況為研究背景，對該系統全黑起動復電計畫及準則作深入探討，包括全黑復電計畫的擬定、全黑起動機組需求標準、全黑起動機組測試標準、全黑復電調度操作準則和各級調度人員應辦理事項等；最後，探討全黑復電相關理論議題，如系統復電的目標和過程、復電策略和方法、復電策略優劣的分析比較等。

目 錄

目 錄.....	I
圖表索引.....	III
壹、出國目的.....	1
貳、出國行程.....	3
參、心得與建議事項.....	4
3.1 心得.....	4
3.2 建議.....	6
肆、過程(主要研習內容).....	8
伍、德州電力市場簡介.....	10
5.1 北美電力市場概述.....	10
5.2 德州電力現況.....	11
5.3 ERCOT 簡介.....	12
5.4 ERCOT 輔助服務市場.....	17
5.5 ERCOT 機組預定服務市場.....	20
5.6 ERCOT 的壅塞管理.....	25
5.7 ERCOT 即時能量市場與壅塞管理.....	26
5.8 ERCOT 的非市場壅塞管理工具.....	36
5.9 ERCOT 的輸電壅塞權(TCR).....	39

陸、系統全黑復電相關議題.....	42
6.1 前言.....	42
6.2 ERCOT 系統全黑啟動能力需求標準.....	42
6.3 全黑啟動機組測試項目.....	43
6.3.1 基本啟動測試(Basic starting test).....	43
6.3.2 加壓線路測試(Line-Energizing Test).....	44
6.3.3 取載測試(Load-Carrying Test).....	45
6.3.4 啟動下一部機組能力測試(Next Start Resource Test).....	46
6.4 ERCOT 系統全黑啟動執行準則.....	47
6.4.1 決定系統狀況(Determining System Status).....	47
6.4.2 確認通訊狀態(Verifying Communications).....	48
6.4.3 系統復電準備 (Preparing for System Restoration).....	50
6.4.4 有關發電廠的問題 (Bringing Up Plants).....	50
6.4.5 選擇線路 (Picking Up Lines).....	51
6.4.6 取載 (Picking Up Load).....	52
6.4.7 獨立系統間的同步 (Synchronizing Between Islands).....	54
6.5 ERCOT 的協調角色.....	54
6.6 ERCOT 選擇全黑啟動機組的準則.....	61
6.7 全黑復電理論.....	63
6.7.1 系統全黑概述.....	63
6.7.2 系統復電的目標和過程.....	64
6.7.3 復電策略的選擇.....	66
6.7.4 復電策略的分析.....	68
柒、參考文獻.....	74

圖表索引

圖 5.1 NERC 地區可靠性組織分佈圖	10
圖 5.2 ERCOT 各類發電機組的裝置容量圖	11
圖 5.3 美國電力市場 ISO 分佈圖	13
圖 5.4 ERCOT 電力市場運作圖	15
圖 5.5 ERCOT 電力市場壅塞管理區域劃分圖	17
圖 5.6 ERCOT 區域市場及節點市場示意圖	18
圖 5.7 ERCOT 之壅塞管理區域圖	26
圖 6.1 合格的全黑起動機組測試流程圖	47
圖 6.2 為 ERCOT 全黑復電調度協調關係圖	56
圖 6.3 ERCOT 系統規劃同步點地理位置圖	59
圖 6.4 常見的全黑事件發生順序圖	64
圖 6.5 系統復電流程圖	66
表 2.1 出國行程	3
表 4.1 主要研習內容	8
表 5.1 ERCOT 與 TPC 系統概況比較表	12
表 6.1 ERCOT 全黑起動機組資訊	61
表 6.2 向上恢復及向下恢復策略優劣比較表	73

參加美國德州大學阿靈頓分校能源系統研究中心

電力系統研習班

出國報告

壹、出國目的

電力系統在運轉過程中，難免會因意外事故導致停電，甚至發生系統全黑的狀況，但若能有計畫且迅速安全的復電，便可將停電對用戶的衝擊與損失降至最低。世界各國均發生過因電網穩定性破壞而導致的大區域停電事故，造成了巨大的經濟損失和社會影響；如 1977 年第二次紐約大停電、1978 年法蘭西大停電、1983 年瑞典大停電、1987 年東京大停電及 2003 年美加大停電，而最為著名的停電事故是 1996 年美國西部接連發生的兩次大區域停電事故，美國總統首次將停電事故提升到“危及美國國家安全”的程度，足見其危害之大。台灣地區近年亦發生過兩次大規模停電事故，分別是 1999 年 729 大停電，及同年因地震導致的 921 大停電，當時均造成我國嚴重的經濟損失及社會衝擊。

如何從系統全停電狀況中迅速恢復供電，一直以來都是台電系統調度運轉的重要課題，全黑啟動機組的配置和全黑復電計畫的研究，亦為本公司當前相當重視的議題。因此，本計畫特別派員前往美國研習，除汲取世界各國電力系統操作的實務經驗外，並針對全黑復電相關議題進行深入研究。

美國德州大學阿靈頓分校設置的能源系統研究中心（Energy Systems

Research Center, ESRC)，自 1968 年成立至今已逾 41 年，為 IEEE 所調查認定前十名之電力系統教育中心，且與美國各電力公司及電力調度中心有多年合作，亦與本公司曾合作系統穩定度研究，將理論研究與實際系統運轉相互結合，協助解決系統規劃、運轉等問題。ESRC 學習課程安排包括基礎電力系統、電力系統分析與設計、電力系統可靠度分析、電業自由化交易制度研討、電業自由化下電力系統之規劃分析、控制與運轉、輸電壅塞管理、輔助服務市場運作方式、電力品質、系統負載預測、需量反應及全黑復電理論等，並安排現場參觀電力公司、電廠及調度中心，可與受訪單位進行技術研討與交流，並拓展本公司人員視野，使理論與實際相結合，使未來台電公司在運轉觀念上能更與世界先進國家接軌並跟上世界潮流，讓電力系統運轉得以更加穩定與可靠。

貳、出國行程

本出國計畫，自 97 年 12 月 29 日起，至 98 年 6 月 26 日止，合計 180 天，行程概要如下表 2-1 所列。

表 2.1 出國行程

日期	起訖地點	工作紀要
97/12/29~97/12/30	台北—洛杉磯—達拉斯—阿靈頓	往程
97/12/31~98/6/24	德州大學阿靈頓分校	參加能源系統研究中心電力系統研習班
98/6/25~98/6/26	阿靈頓—達拉斯—洛杉磯—台北	返程

參、心得與建議事項

3.1 心得

1. 電力系統一旦發生全停電事故，將造成國家安全的嚴重衝擊和社會經濟的重大損失，倘若能在最短的時間內迅速恢復供電，便可將此類事故的衝擊和損失降至最低。一般來說，大部分電力系統運轉人員均缺乏電力網路全停電事故的處理經驗，因此有必要確定系統復電的基本原則和擬定完整的復電操作計畫，使系統復電有條不紊且快速無誤的實行。
2. 德州 ERCOT 電力系統尖峰負載約為台電系統的兩倍，相較於美國其他電力系統，ERCOT 系統可視為獨立電網，僅有 3 條直流輸電線與外州相聯，但傳輸功率有限，且通常不向外州購售電，系統狀況與我台電公司孤島獨立電力系統相似。因此，在 ERCOT 有許多相關的電力系統運轉模式可以供台電系統參考，尤其是全黑復電方面的規劃亦值得本公司借鏡。
3. 美國德州大學阿靈頓分校設置的能源系統研究中心（Energy Systems Research Center, ESRC），自 1968 年成立至今已逾 35 年，為 IEEE 所調查認定前十名之電力系統教育中心，與美國各電力公司及電力調度中心均有合作關係，可以將理論研究與實際系統運轉相互結合，進而協助解決電力系統相關問題。本人此次奉派至 UTA/ESRC 研習，深感獲

益良多，除深入了解美國電力市場運轉方式、提升電力系統專業知識、增進運轉經驗交流外，更藉由 ESRC 的安排參觀電力公司與調度中心，與受訪單位相關人員建立友誼，有助於將來資訊蒐集與技術交流。建議本公司持續派員至 UTA 能源系統研究中心研習電力系統相關課程，學習先進的電力系統運轉觀念與技術、拓展公司同仁視野，使台電公司在運轉觀念上能更與世界先進國家接軌，讓電力系統的運轉得以更加穩定與可靠。

4. 本人於研習期間受李偉仁教授邀請，於 ESRC 舉行簡報(98.5.7)，內容為台電調度系統簡介及研究主題發表；另應 UTA 畢業班同學邀請，簡報介紹保護電驛相關現場實務課程，獲熱烈回響。用英語簡報對本人而言實屬一大挑戰，但這難得的經驗相信對自己日後的簡報技巧和信心會有許多的幫助。
5. 本次出國計劃得以順利成行，特別感謝 涂總經理、李副總經理肖宗、鄭前處長金龍、藍處長宏偉、劉調度監坤城、曾副調度監重富及吳組長進忠的大力協助與支持，同時也要感謝鄭組長壽福、祁課長培倫、鍾云彰等同仁在出國期間和出國前後的鼎力幫忙，使本組規則課相關業務得以繼續推動，謹此致上最誠摯的謝意。最後，感謝本處全體同仁良好表現，獲得長官讚賞，得以持續支持本出國計劃。

3.2 建議

1. 本人參與此次出國計畫，除增進電力專業知識、瞭解各類電力技術發展現況、開闊視野及提升英語能力外，並有機會和國外電力相關人員進行交流，對工作有相當大的助益，建議仍繼續派員參加。
2. ESRC 訓練課程較著重於專題性研究，並有較多機會與各國電力專業人員進行研討，建議日後參加人員先擬定出國研究計畫，以針對研究主題選修相關課程。
3. 有關全黑復電調度員訓練，除一般性理論課程外，建議利用本公司新電能管理系統（EMS）系統中調度員訓練模擬器（OTS）進行實務性演練，藉由模擬系統全停電或部分全停電狀況之復電程序，使調度員操作訓練更務實。
4. 小系統合聯的同步問題，一直是調度員在系統復電過程中最棘手的議題，若能及早規劃適當合聯點及自動合聯設備，將有助於全黑復電流程的順利進行。
5. 系統全黑初期的通訊設備，為調度員瞭解系統狀況、執行復電決策和傳達復電操作指令的重要依據，建議新調度中心針對此一議題採取應變補強措施（ex:不斷電系統、衛星電話...）。
6. 系統全黑復電計畫應由中央調度中心統籌指令，未經中央調度中心確認的指令不可貿然執行，且復電過程以一次執行一種電壓等級之復電

路徑為原則，以避免系統在復電過程中因誤操作導致額外的事故。

肆、過程(主要研習內容)

表 4.1 主要研習內容

課 程	
Power System Restoration	Load Pickup & Reserve Distribution
	Energizing High and Extra-High Voltage Lines
	Reactive Power Consideration
	Protective System Issues During Restroration
	Blackstart of Steam Electric Stations
	Blackstart Siniuation and Field Test
Power System Operation and Control	Frequency Control
	Voltage Control
	Voltage Stability
	Angle Stability
	Power System Restoration
	Blackout Description
研 習 主 題	
電力系統全黑復電計劃	Power System Restoration
美國電力輔助服務市場	Ancillary Service Market Design and Operation in the United States
電力市場交易分析基本原則	Fundamentals of Power and Energy Trading-Advanced Analysis in Power Market.
保護電驛原理與應用	Protective Relaying Principles and Applications
研 討 會	
Wednesday, Feb. 4, 2009	Early Stage Arcing Fault Detection for Medium/Low Voltage Switchgear Dr. M. Sahni k. Methaprayoon

Wednesday, Feb 18, 2009	Challenges and Opportunities of Smart Grid Development Dr. Morgan Kiani, University of Texas at Arlington.
Monday, March 9, 2009	Population-based Intelligent Search in Reliability Evaluation of Hybrid Generation Systems with Wind Power Penetration Dr. Lingfeng Wang, California ISO
Thursday, March 26, 2009	Pulse Width Optimization for High Power Converters Dr. Huibo Lou, Huazhong University of Science and Technology
Friday, April 10, 2009	Applications of Computational Intelligence to Power Engineering Dr. Wenxin Liu, Center for Advanced Power Systems (CAPS) of Florida State University
Wednesday, April 22, 2009	The Opportunities and Challenges of Smart Grids Wei-Jen Lee, Ph.D., PE Director and Professor
Wednesday, March 13, 2009	Introduction to MISO (Midwest ISO) Mr. Rao Konidena
Thursday, March 26, 2009	Safety Driving Assistance System Dr. Yuan-Lin Chen, Ming-Chi University, Taiwan
Friday ,June 12,2009	Power-Aware High-Performance computing: The Dawn of the Green Computing Era. Dr. Ishfaq Ahmad, CSE Department

伍、德州電力市場簡介

5.1 北美電力市場概述

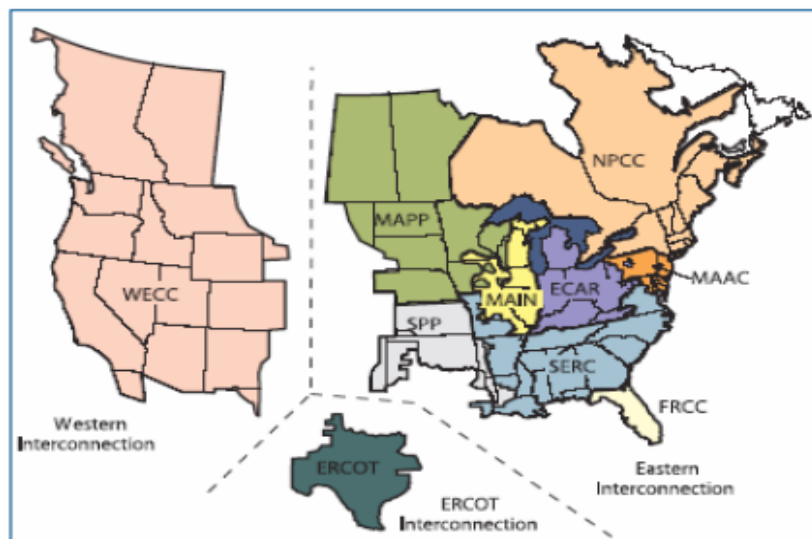


圖 5.1 NERC 地區可靠性組織分佈圖

在美國負責電力市場運轉、管理、監督的服務性非營利性組織由上至下大致有 5 級，分別是聯邦能源管理委員會（Federal Energy Regulatory Commission, FERC）、北美電力可靠性委員會（North America Electric Reliability Corporation, NERC）、地區電力協調委員會（Area Power Coordinating Council）、州可靠性委員會（State Electric Reliability Council）、州獨立系統調度員（State Independent System Operator）[1]。FERC 負責市場監管，並負責審訂重要的市場規則，且組織和協調電力市場相關研究及政策分析等；NERC 執行的工作包括制訂和監督可靠性計算標準、AGC 標準等；圖 5-1 為北美控制區域顯示 NERC 的 10 個地區可靠性組織分佈[2]，其中包括德州電力可靠性委員會(Electric Reliability Council of Texas, ERCOT)；州可靠性委員會主要是

編制和改進可靠性規則和相關標準，保障地區電力系統的安全運行；州獨立系統調度員則負責和保證本州電網的可靠運轉。

5.2 德州電力現況

德州位於美國中南部，用電量居美國各州之首，約佔全美 12%。德州發電機組類型豐富，包括燃煤、燃氣、核能及再生能源機組(風力、水力等)，容量分別約佔全州總量的 16%、65%、6%和 13%[3]。德州電網相較於美國其他電網幾乎可視為獨立電網，僅有 3 條直流輸電線與外州相聯，但傳輸功率有限，通常不向外州購售電。德州大部分電網由德州電力可靠性委員會(Electric Reliability Council of Texas, ERCOT)調度管理，ERCOT 成立於 1970 年，目前是北美的 10 個區域可靠性委員會之一，負責保障 ERCOT 系統可靠安全的運轉及確保德州電力市場公平的競爭。圖 5.2 為 ERCOT 各類發電機組的裝置容量圖。

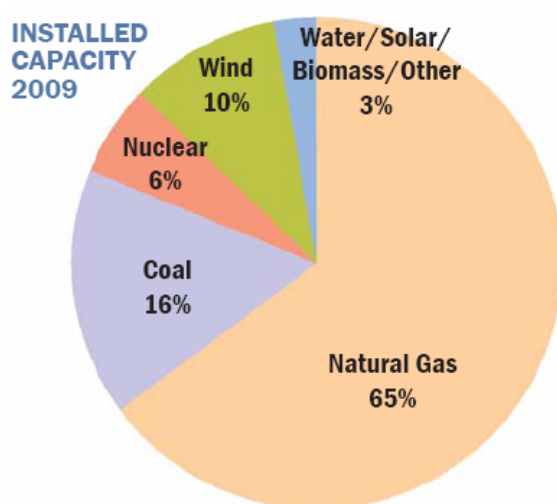


圖 5.2 ERCOT 各類發電機組的裝置容量圖

5.3 ERCOT 簡介

德州電力可靠度委員會(ERCOT)是依據德州參議院第 7 號法案，擔任獨立系統操作者(ISO)，ERCOT 負責營運電力批發市場並且確保德州調度電網的可靠度。截至 2008 年底為止，ERCOT 擁有德州近 2 千 2 百萬客戶，相當於全州 85%的電能負載及 75%的德州土地面積，ERCOT 的電網有 40,327 哩長的高壓輸電線及 566 台的發電機，裝置容量達 80,076MW，其中風力機組裝置容量高達 8000MW 為全美之最；同時 ERCOT 也進行大額電力競爭批發市場的財務結算，及管制競爭選擇區內 590 萬客戶的零售轉供。

表 5.1 ERCOT 與 TPC 系統概況比較表

	ERCOT	TPC
Customers served	22 million	12 million
Area served	85% of Texas load, 75% of Texas grid	100% of Taiwan load, and Taiwan grid
Generating units	566	510
High-voltage transmission	40,327 miles	10,036 miles
Installed capacity	80,076 MW	38,634 MW
Reserve margin	16.8%(minimum required 12.5%)	21.1% (minimum required 16%)
Record peak demand	62,339 MW (August 2006)	32,790.8MW(July 2007)
Wind generation	8,000 MW	346.86MW
Demand response	1,115 MW	13.7MW

ERCOT 在美國是獨特的 ISO，它並未同步連接至其他北美互連電網內。ERCOT 實際上是一個孤島系統，往北以非同步的連接方式至西南電力池 ISO，往南則以直流互連線接到墨西哥的 Comisión Federal de Electricidad (CFE)，並藉直流互連線控制電力潮流進出 ERCOT 的電網[4]。圖 5.3 為美國

電力市場 ISO 分佈圖。

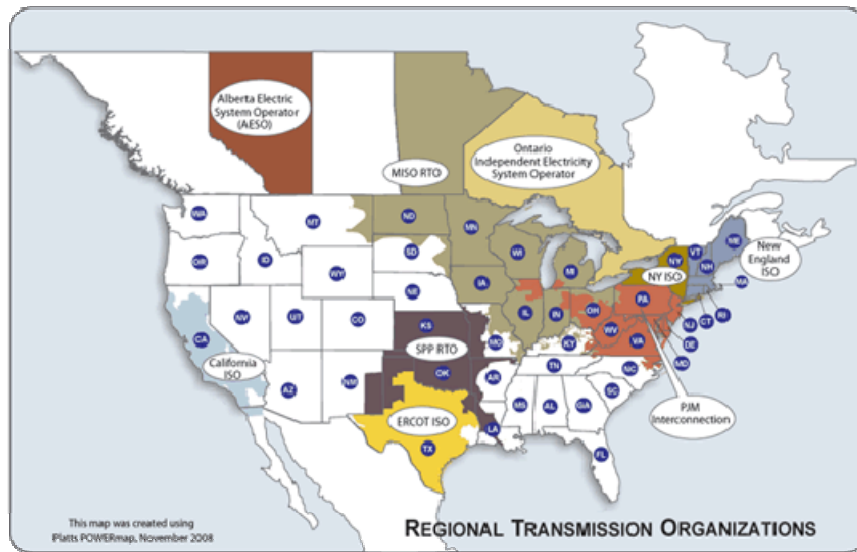


圖 5.3 美國電力市場 ISO 分佈圖

ERCOT 是一個會員制的非營利機構，由委員會管理並接受德州公用事業管制委員會(PUCT)及德州州議會的監督。ERCOT 的成員包含零售用戶，民營和市立電力公司，鄉村電力合作社，河流管理局，獨立發電業者，電力市場商及零售電力供應者。

ERCOT 是電力自由市場操作者，須承擔的責任有：負載預測、輸電停線協調、排程和監控、費率管理、輸電及發電規劃、輸電操作、可靠度協調、取得可靠度必須運轉服務(機組排程預定)、批發和零售市場營運、採購熱機備轉容量、備用容量、調節服務、平衡能量、未得標的容量服務、未得標的能量服務、負載卸載管理、平衡電能管理，再生能源推廣計畫管理，停電調查、壅塞管理、輸電壅塞權(TCR)拍賣管理等。另外，ERCOT 亦須承擔的責任有：維護一個集中登記的資料庫，零售交易清算服務，審查及測試零售市場參與者的資格，彙編零售市場制度且提出報告，作為所有用戶的代理人及零售供

應者，每月接收處理 6 百萬個電錶資料並傳送至適合的零售電力供應商，擔任獨立且中立的角色協助用戶轉換供電商。

ERCOT 提供買方、賣方、發電業者、輸電業者、市場交易者所需的營運，但 ERCOT 並未擁有輸電、發電、配電及終端用戶，也不制定市場政策，ERCOT 不關心批發或零售價格，只關心市場的功能是否完善，ERCOT 在股東會議上是一個積極但無投票權的參與者。

在 ERCOT 市場相關活動中，合格排程個體(Qualified Scheduling Entity, QSEs)是主要與 ERCOT 互動的個體。任何市場參與者(發電商、零售商、電力市場商)都必須先成為 ERCOT 的合格 QSE，或者透過一個 QSE，才能進入 ERCOT 電力市場進行交易；只有合格排程個體才能向 ERCOT 提出能量計劃、能量報價、輔助服務報價以及與 ERCOT 進行結算。QSEs 可代表發電公司(PGC)，負載服務公司(LSE)或電力市場交易者。PGC，LSE 或電力市場交易者可由單一的 QSE 代表。QSE 在 ERCOT 市場運作中扮演一個重要的角色，它是唯一被允許代表他們用戶提交排程的個體。LSEs 代表批發電能的消費者及/或零售電力提供者(REPs)。ERCOT 認可的 QSEs 可提供輔助服務，提出平衡排程，競標輔助服務及結算批發市場的付款及取款。QSEs 必須提出每日雙邊交易排程的總發電量及需量，確定區域等級及區域能量往上及往下平衡的競標曲線，發電量及需量的排程必須平衡，以使供需相等。圖 5.4 為 ERCOT 電力市場運作圖。

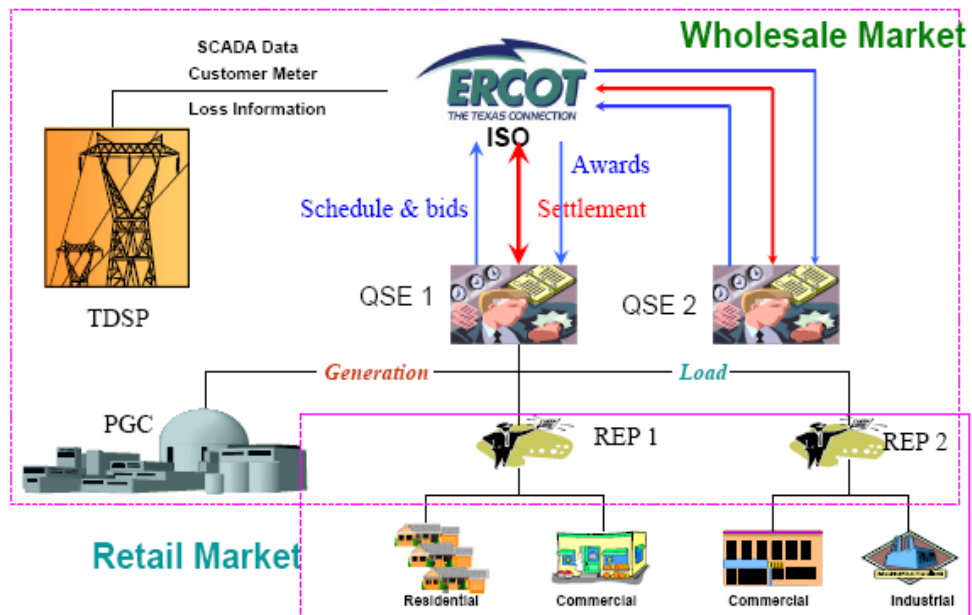


圖 5.4 ERCOT 電力市場運作圖

在 1999 年，德州州議會重整德州電力市場，將民營電力公司分割以及建立零售用戶選擇權，並指定 ERCOT 四個主要的職責：系統可靠度規劃及操作、開放輸電及配電、用戶選擇權零售轉換程序、批發電力市場中生產及運送的結算。另外 ERCOT 需負責即時電網可靠度操作、批發市場管理、輔助服務市場管理、系統規劃協調、再生能源獎勵管理、支援市場參與者與股東的活動。ERCOT 在美國是獨特的 ISO，它是唯一有零售交易登記代理商的 ISO。

ERCOT 的市場規章由各方電力工業界參與制定，規章及修正案經德州公共事業管制委員會審查以確保符合公眾利益以及德州法規。

ERCOT 輔助服務包括：

1. 調節備轉容量
2. 熱機備轉容量
3. 冷機備用容量

4. 替代備用容量
5. 未得標容量
6. 全黑啟動
7. 可靠度必須運轉
8. 能量平衡
9. 可靠度必運轉能量
10. 未得標能量

ERCOT 的輔助服務及能量平衡服務每年約有 10 億美金，零售市場約有 270 億美金。

ERCOT 正在進行新的市場設計，在 2003 年 PUCT 為了壅塞管理要求 ERCOT 發展節點批發市場。ERCOT 計畫在 2010 年將區域市場轉為節點市場；在今日的區域市場，電網是依重大商業限制(Commercially Significant Constraints, CSCs)所定義的方式劃分壅塞管理區(CMZs)，圖 5.5 為 ERCOT 電力市場壅塞管理區域劃分圖。而推動節點設計將滿足 PUCT 的要求，將區域壅塞成本直接分派給造成壅塞的市場參與者，節點市場電網將由超過 4000 節點及幾個負載區域組成，以取代現有的 CMZs。

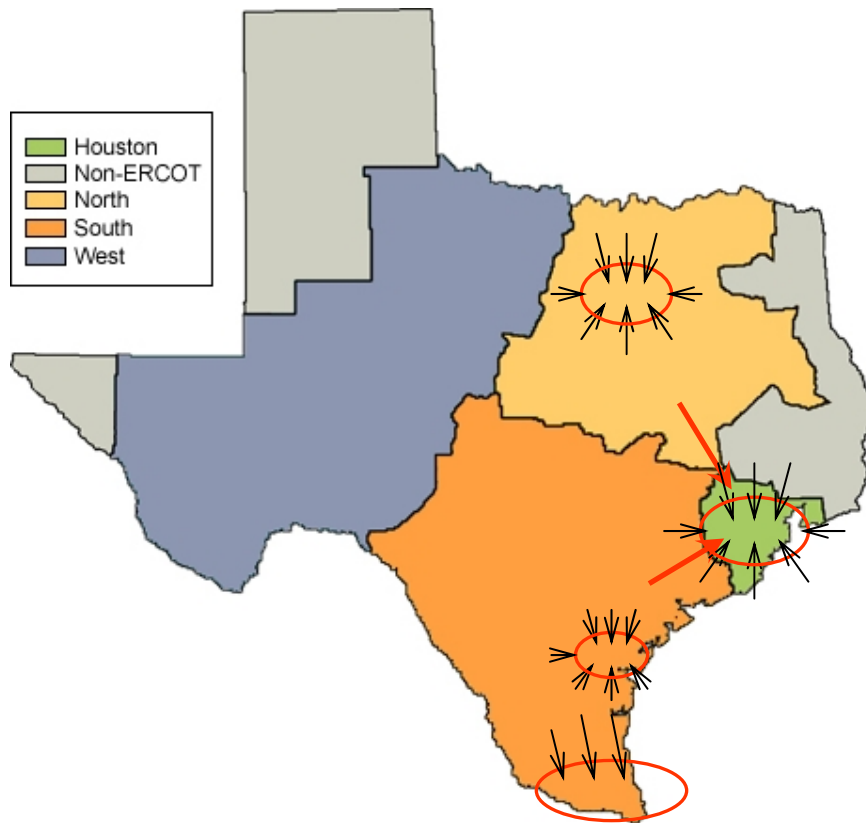


圖 5.5 ERCOT 電力市場壅塞管理區域劃分圖

5.4 ERCOT 輔助服務市場

自 2001 年 7 月以來，ERCOT 以一個單一控制區來操作批發輔助服務市場。ERCOT 現在使用區域壅塞管理系統來營運，此系統含有雙邊能量契約及即時平衡能量市場[5]。ERCOT 對於未能自我提供輔助服務需求的市場參與者，提供每日拍賣市場採購以容量為主的輔助服務。ERCOT 計畫在 2010 年轉成節點市場設計，綜合最佳化前一日能量市場與輔助服務市場，和即時能量現貨市場。圖 5.6 為 ERCOT 區域市場與節點市場示意圖。

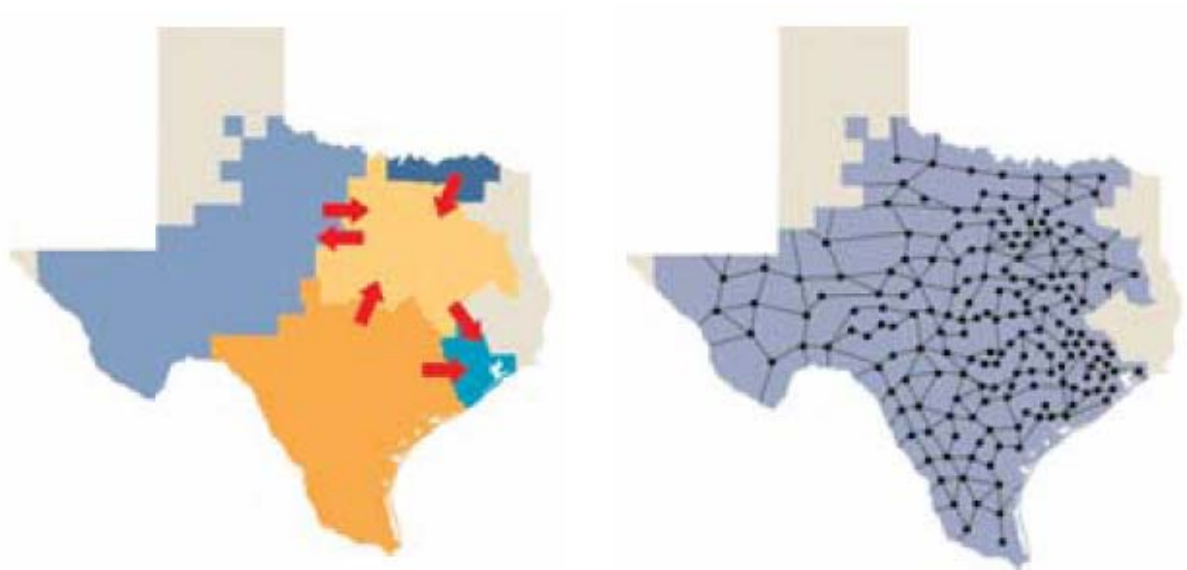


圖 5.6 ERCOT 區域市場及節點市場示意圖

輔助服務是為了提供系統充足的備轉容量，以確保電力系統供電安全和穩定運轉。在 ERCOT 輔助服務由市場參與者(QSE)提供，統一由 ERCOT 調度。ERCOT 輔助服務市場(日前市場)為確保第 2 天的電力系統安全可靠運轉，提供下列 4 種輔助服務交易，包括調頻增量服務(Regulation Up Service, URS)、調頻減量服務(Regulation Down Service, DRS)、熱機備轉服務(Responsive Reserve Service, RRS)和冷機備轉服務(Non -Spin Responsive Service, NSRS)。除了合格計劃體(QSE)自備的輔助服務外，ERCOT 還需要在日前和調整階段開放輔助服務市場再購買一些輔助服務以滿足系統的可靠度要求[6]-[8]。ERCOT 市場中的輔助服務的徵購分為三個步驟：

1. 在每日凌晨 6 點之前，ERCOT 根據的日前負載預測擬定次日的輔助服務計劃，標明次日每小時所需的各類輔助服務的需求量；ERCOT 會根據各合格計劃體的歷史負載記錄，將這些需求量分攤到各合格計劃

體，ERCOT 所使用的歷史負載記錄數據是各合格計劃體前一周的實際負載值。

2. 各合格計劃體向 ERCOT 提交自行安排提供的輔助服務以及輔助服務報價，各合格計劃體自行安排的輔助服務既可以由本身所擁有的機組提供，也可以透過雙邊合約向其他合格計劃體購買；有些合格計劃體無法滿足其必須提供的輔助服務攤派量時，則可請求 ERCOT 在輔助服務市場為其購買其餘所需的量；若某些合格計劃體有充裕的輔助服務容量時，可以對一種或多種輔助服務投標。

3. ERCOT 每天開放日前輔助服務市場為次日的每一運轉時段購買各合格計劃體所需承擔之輔助服務的不足量。

ERCOT 在日前輔助服務市場，為第 2 天的每個小時購買除各合格計劃體自行供給之外還需要的輔助服務。ERCOT 是依次購買輔助服務，先購買調頻減量服務(DRS)，再購買調頻增量服務(URS)，然後購買熱機備轉服務(RRS)，最後購買冷機備轉服務(NSRS)。每一種輔助服務的所有投標均按報價升序排列，ERCOT 從最低報價的投標起，按升序依次選擇最便宜的投標，直到購得所有輔助服務計劃所需的量。由於一個合格計劃體可能為同一容量針對不同的輔助服務進行投標，ERCOT 在為某一種輔助服務購買該容量後，會將其自其他的輔助服務投標中扣除，費用則由無法自行安排提供足額輔助服務需求量的合格計劃體負擔。ERCOT 為每一運轉時段的每一種輔助服務計算該服務

的市場結算價格，亦即 ERCOT 為該時段購買該服務時所支付的最高價格。

在即時運轉時，系統根據頻率的變動情形，每 4 秒就調用一次調頻服務以控制機組的發電出力，進而達到維持系統頻率在標準範圍的目的。只有配置有自動發電控制設備的機組才能夠接收 EMS 系統發出的調頻服務調度指令並做出反應，以提供調頻服務。ERCOT 在日前徵購熱機備轉容量(RRS)，在即時運轉中調用熱機備轉熱容量(RRS)，以期能在幾分鐘內恢復因突發事件所造成較大幅度的系統頻率偏移。熱機備轉熱容量一般由運轉中且仍有餘裕出力的機組提供，或是由低頻電驛自動卸載可啟斷負載提供。

冷機備轉容量則是由待機中或停機中但能在 30 分鐘內啟動並達到一定發電出力水準的機組提供；有些可啟斷負載在功能上相當於發電機組，也可以提供冷機備轉容量服務，這類的負載在 ERCOT 被稱為 LaaR (Load acting as a Resource, LaaR)。ERCOT 在即時前階段調用冷機備轉容量，以確保即時運轉時的能量供需平衡並解決區域輸電壅塞問題。

5.5 ERCOT 機組預定服務市場

基本上，ERCOT 機組預定市場稱就是替代備轉容量服務市場 (Replacement Reserve Service Market)，也就是其他電力市場中的可靠度機組預定服務市場(Reliability Unit Commitment Market)[9]。在每日 18:00 之前，ERCOT 會根據合格計劃體的發電計劃、機組計劃以及 ERCOT 的中期負載預測等資訊進行機組預定分析，再根據分析的結果購買機組預定服務，以解決

次日即時運轉時可能發生的系統安全問題；如區域間壅塞、局部壅塞及系統容量不足等。在運轉調整階段，ERCOT 也可能會根據情況的變化，購買更多機組預定服務。在 ERCOT 發布要購買機組預定服務的通知後的 30 分鐘內，各合格計劃體可以依據協議中的相關規定更新其能量計劃，ERCOT 會在發出通知後的 45 分鐘重新評估系統對機組預定服務的需求，然後在發出通知 1 小時後購買增加的機組預定服務(由待機機組提供)。根據 ERCOT 市場協議，機組一旦被徵用提供機組預定服務組，其合格計劃體就必須為該機組的容量向即時能量市場投標，並確保機組在被選定機組預定服務的運轉時段處於運轉狀態。如果機組沒有運轉或是計劃在需要購買機組預定服務的時段內不運轉且沒有檢修維護計劃時，ERCOT 將主動認定該機組可以提供機組預定服務。ERCOT 根據合格計劃體提交的機組預定服務報價及機組的具體位置進行選擇合適的機組提供機組預定服務。

ERCOT 使用的機組預定分析軟體是一個考慮安全限制條件的機組預定最佳化程式(Security Constraint Unit Commitment, SCUC)。SCUC 藉由一個最佳化程序為次日系統運轉中的區域間壅塞、局部壅塞和系統容量不足找到一個最佳化(最經濟)的解。SCUC 考慮的安全限制條件，包括以下 5 項：

1.系統容量限制條件

即所有 QSE 自行安排的機組和機組預定服務市場購買的機組容量之總和，必須滿足系統負載預測及系統對調頻增量和熱機備轉容量輔助

服務的需求。

2.系統能量平衡限制條件

即所有 QSE 自行安排的機組和在機組預定服務市場購買的機組(包括負載資源)的出力總和必須與系統負載預測平衡。

3.機組容量限制條件

即任何機組(包括負載資源)的出力必須在其最大容量與最低容量之間。

4.機組時間限制條件

即必須滿足任何機組(包括負載資源)的最小運轉時間(Minimum Up Time)、最小停機時間(Minimum Down Time)和最短啟動時間(Lead Time)。

5.線路容量和界面輸電容量限制條件

即根據 QSE 自行安排的機組出力、在機組預定服務市場購買的機組出力以及負載預測，計算出的線路或界面潮流必須滿足鐵路輸電容量和界面輸電容量的限制。線路輸電容量和界面輸電容量限制包括確保系統正常運轉方式下的限制和所有 N-1 偶發事故運轉方式下的限制。

SCUC 分為 3 個步驟，依序進行機組預定分析，茲說明如下[10]：

1.解決局部壅塞

在 ERCOT 系統中，由於某些特定的合格計劃體通常對於解決某一

特定的局部壅塞具有關鍵性的影響能力，以致無法符合電力市場公平競爭的要求，因此 SCUC 在尋找局部壅塞的最佳解時，並不考慮機組的報價(Price)，而是考慮機組的成本(Cost)，以使為解決局部壅塞而購買的機組的成本總和最低。在 ERCOT 系統中，所有的機組都必須由其合格計劃體註冊並指定其類別，ERCOT 在其協議中規定各種不同類型機組的成本(Generic Cost)。在 SCUC 中考慮的機組成本，包括機組的啟動成本和機組運轉在最低出力點時的運轉成本。除了地點和容量大小的考慮之外，機組預定的選擇主要是比較機組的類別，步驟 1 的輸出結果是為解決局部壅塞而購買的機組。ERCOT 將對這些機組提供的服務按照 OOMC 服務的規定進行結算。

2.同時解決系統容量不足和區域間壅塞

在此步驟中，SCUC 對所有的機組預定服務報價進行比較，在確保系統安全運轉的前提下尋找最經濟的解。機組預定服務報價必須包含：機組名稱、機組容量、啟動報價、最小出力價格、投標時段和投標失效時間。對於沒有機組預定服務報價但可提供機組預定服務的機組，SCUC 會為其設置一個報價，此一報價是該機組的分類費用和一個調整因子的乘積。調整因子遠大於 1，其目的是儘可能購買有報價的機組。如果考慮了所有報價的機組也無法解決系統容量不足或區域間壅塞的問題，SCUC 會購買未報價機組並按 OOMC 服務(管制容量服務)結算，步驟 2

的輸出結果是為解決區域間壅塞或系統容量不足而購買的機組。步驟 2 結束後，ERCOT 的調度員會審閱前兩步驟的輸出結果，在批准前兩步驟的輸出結果之前，ERCOT 的調度員可以選擇取消前兩步驟中對某些機組的機組預定指令。

3. 計算出機組預定服務的市價

機組預定服務的市價，包括各區域間壅塞限制條件的影子價格和各壅塞區域的容量價格，除此之外，SCUC 在步驟 3 會向所有被選定提供機組預定服務的合格計劃體發出機組預定指令。如果某合格計劃體的能量計劃導致或加重某區域間壅塞，則該合格計劃體須按該區域間壅塞的影子價格支付給 ERCOT 區域間壅塞費用，沒有準備足夠機組容量的合格計劃體也須按照市場價格向 ERCOT 支付費用。

如果 SCUC 無法收斂，即表示 SCUC 無法購買到足夠的機組預定服務容量滿足系統安全可靠運轉的需要，亦即無法解決系統容量不足的問題或無法解決區域間壅塞或局部壅塞的問題，此時 ERCOT 調度員就會強制要求某一些機組必須提供機組預定服務以確保系統安全可靠運轉，此種不考慮市場面和經濟面因素的強制指令被稱為管制容量服務(Out-Of-Merit Capacity, OOMC)。由於 OOMC 是由 ERCOT 根據系統實際情況，依其權責向合格計劃體發出必須執行的強制指令，而不是機組預定市場根據各合格計劃體的報價所尋找出來的最佳解，因此 OOMC 的結算是根據機組所屬類別的分類費用而不是該機

組的報價進行結算。

5.6 ERCOT 的壅塞管理

與美國其他電力市場相比，德州電力市場有其獨特的作法；德州電力市場採用區域型包裹模式提交發電和負載計劃以及輔助服務報價、定價和進行電網壅塞管理[9]。2001年7月31日，德州的10個調度中心合併為一個調度中心，即現在的ERCOT電力調度中心，同日ERCOT電力批發市場開始運行，並建立以區域定價和壅塞管理模式為特點的即時電力市場。2001年ERCOT共設有3個壅塞管理區域(Congestion Management Zone)，壅塞區域的劃分標準是同一區域內的機組和負載對於同一CSC上的潮流變化必須有著類似的影響。2002年1月1日起調整為4個壅塞管理區域，2004年1月1日起再調整為現有5個壅塞管理區域，即南區、北區、休斯頓區、西區和東北區。各區之間設有輸電界面限制，即所謂的CSC(Commercially Significant Constraint，另稱為商業影響限制)，CSC實質上是一組輸電線路的組合，目前計有6個CSC分別為南區→北區、南區→休斯頓區、北區→休斯頓區、西區→北區、東北區→休斯頓區和北區→西區，如圖5.7所示。在ERCOT，造成區域間壅塞的市場參與者必須負責支付其壅塞費用，對於單一區域內的局部壅塞問題，ERCOT則另採用一個局部壅塞管理(Local Constraint Management)模型進行管理，市場參與者可以購買輸電壅塞權來限制其所在區域的壅塞費用。

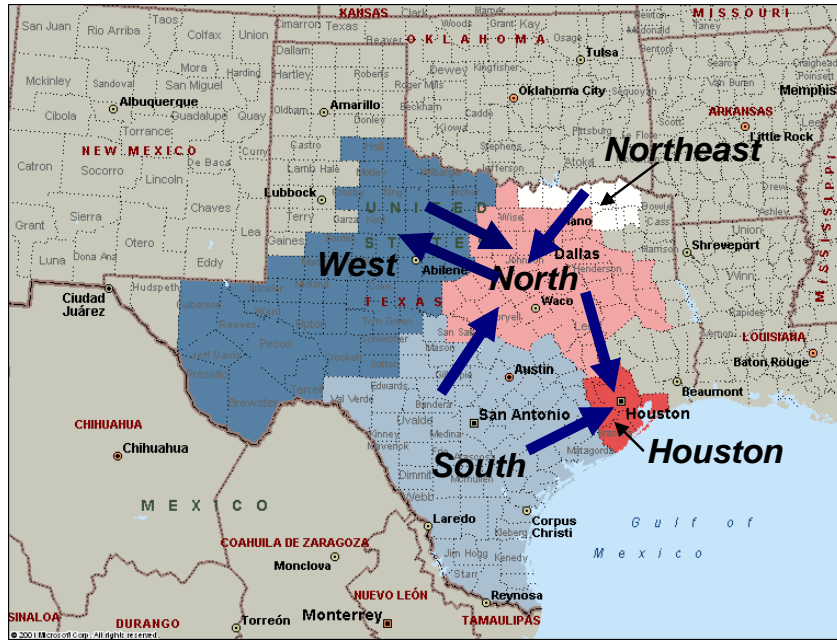


圖 5.7 ERCOT 壅塞管理區域圖

5.7 ERCOT 即時能量市場與壅塞管理

ERCOT 能量市場以雙邊合約市場為主，雙邊合約市場的最大優點就是可以使市場參與者得到一個相對穩定的價格，以避免即時能量市場價格的不穩定性所帶來的風險。市場參與者在即時能量市場中進行即時的能量交易，雖然即時能量市場能量買賣成交量只占整個系統總發電量的很小比例(小於 5%)，但它在整個電力批發市場中的作用卻非常重要。即時能量市場藉由調整電網中各區域或各節點的出力解決即時運轉中的輸電壅塞以及平衡計劃發電和即時負載之間的誤差，同時用低成本的發電取代計劃中的高成本的發電。此外，平衡能量市場的價格還為市場參與者雙邊合約的簽訂提供重要的價格信號，雖然大多數能量的買賣都是由未來不同時期的雙邊合約進行交易，但是平衡能量市價仍會直接影響雙邊合約的價格。

在即時能量市場運轉前，所有的市場參與者都必須透過合格計劃體(QSE)

提交其能量計劃，並且所提交的能量計劃中的供電量和用電量必須是相等的。ERCOT 透過即時能量市場購買平衡能量，以平衡合格計劃體的總計畫發電量和系統的負載預測之間的誤差，同時解決區域間輸電壅塞問題。ERCOT 的即時能量市場包括兩個子市場：區域間包裹式壅塞管理市場和區域內單機式壅塞管理市場。

1. 區域間包裹式壅塞管理市場 (Zonal Portfolio Congestion Management Market)

ERCOT 的輸電系統及系統內的機組和負載均被事先劃分到某一個的壅塞區域(Congestion Zone)，由於同一個壅塞區域內的機組和負載對於同一 CSC 上的潮流變化有著類似的影響，所以 ERCOT 即時能量市場採用一個叫做 SPD(Scheduling, Pricing & Dispatching)的軟體進行調度能量，以解決壅塞問題和能量平衡問題。

在解決區域間壅塞的時候，SPD 假設同一區域內的機組和負載對於同一 CSC 有著相同的區域轉移因子(shift factor)，因此某一區域內的任何供需不平衡對於某一固定 CSC 的影響是相同的。即時能量市場的區域間壅塞管理是使用區域轉移因子以預測在已知系統狀態下各 CSC 上可能發生的壅塞；區域轉移因子由 ERCOT 根據最新的電網結構狀態而定，以求能準確反應各壅塞區域內的發電機組和負載對各 CSC 的影響。如前所述，日前的機組預定服務市場也是採用這種區域間壅塞管理方法和其他一些措施來預測次日各 CSC 上可能發生的壅塞，以決定是否需要在某些區域內購買機組

預定服務以增加該區域內的能量投標，確保次日即時運轉時 CSC 上的壅塞能得到解決。

區域間包裹式壅塞管理市場的功能是購買包裹式平衡能量增量或平衡能量減量服務投標，藉以平衡即時運轉時合格計劃體(QSE)的發電計劃和 ERCOT 短期負載預測間的誤差，並解決區域間的壅塞。基本上，包裹式平衡能量服務投標是一個合格計劃體為某一個區域提交的平衡能量服務投標曲線，平衡能量投標包括平衡能量增量服務投標和平衡能量減量服務投標。平衡能量增量服務是指合格計劃體願意在計劃發電量的基礎上增加其機組出力，以提供更多的發電量。合格計劃體可以用一系列(MW·美元)組合點去確定它的投標價格曲線，其中任意兩個(MW·美元)組合點用一直線連接，此一投標價格曲線說明了合格計劃體不同出力的投標價格。由於投標曲線是一條單調上升曲線，所以當 ERCOT 向某一合格計劃體購買的平衡能量增量服務越多，該合格計劃體所要求的價格也就越高。平衡能量減量服務則是指合格計劃體在計劃發電量的基礎上減少出力，藉由在市場中購買某一電量以滿足其本身的負載或雙邊售電合約。由於平衡能量減量服務將減少合格計劃體的發電量，使其運轉成本得以降低，所以平衡能量減量服務的投標價格是指合格計劃體願意付給 ERCOT 的價格，意即合格計劃體願意在 ERCOT 市場中購電的價格。平衡能量減量服務投標價格曲線是一單調下降曲線，當 ERCOT 向某一合格計劃體購買的平衡能量減

量服務越多，該合格計劃體所付給 ERCOT 的價格也就越低。

ERCOT 使用一個線性化的區域包裹式壅塞管理模型來滿足發電量與 ERCOT 即時負載預測平衡，並解決所有區域間壅塞情況的前提下，使系統的運轉費用最低，使系統的收益最大化。該管理模型可同時計算出平衡能量服務的市場價格、CSC 壅塞影子價格以及對各合格計劃體的平衡能量服務的調度指令。ERCOT 區域市場價格(Zonal Market Clearing Price for Energy)等於該區域的邊際市場價格(Marginal Price)，CSC 壅塞影子價格等於解決區域間壅塞的邊際費用。

在市場結算時，ERCOT 使用這些 CSC 壅塞影子價格計算出各合格計劃體所造成的壅塞，同時將解決區域間壅塞的費用直接分配給造成壅塞的各合格計劃體。為了規避高壅塞費用的風險，合格計劃體可以購買輸電壅塞權(Transmission Congestion Right，簡稱 TCR)，ERCOT 會按照市場結算價格支付給各合格計劃體提供的高於其計劃發電量的那部分電量，合格計劃體要按照市場價格向 ERCOT 支付低於其計劃發電量的那部分電量。同時合格計劃體要按照市場價格向 ERCOT 支付多消耗的電量，即超出其計劃用電量的部分，ERCOT 也會按照市場價格支付給合格計劃體低於其計劃用電的部分。

2. 區域內單機壅塞管理市場(Unit Specific Local Congestion Management Market)

ERCOT 的區域內壅塞管理使用一個比區域間壅塞管理更為精確的運

轉模型來指定調度某些發電機組，以解決可能發生的區域內壅塞(亦稱為局部壅塞)。

區域內單機壅塞管理市場的功能主要在於調度單機式平衡能量增量或平衡能量減量服務投標以解決局部壅塞問題，單機式平衡能量投標是一個合格計劃體為某個特定機組提交的平衡能量服務投標。區域內單機式壅塞管理過程可劃分為 4 階段：

(1) 狀態評估(State Estimation, SE)

(2) 偶發事件分析(Contingency Analysis, CA)

(3) 輸電限制管理(Transmission Constraint Management, TCM)

(4) 考慮系統安全限制的經濟調度(Security Constrained Economic Dispatch, SCED)

在即時運轉的過程中，ERCOT 每 5 分鐘進行一次狀態評估和偶發事件分析，其最新的評估和分析結果將被應用於每 15 分鐘進行一次的即時能量市場經濟調度程序，藉以進行局部壅塞管理。經濟調度程序係根據機組可能的運轉情況、機組報價、各節點的負載預測以及當時的電網結構、限制條件等參數，尋求一最經濟的機組調度方案。

狀態評估是根據電網系統的即時資訊(由 SCADA 提供)進行評估，同時確定系統中各發電機的狀態、節點的負載及電網結構；系統即時資訊包括各發電機的有效功率輸出和無效功率輸出、各節點的電壓值以及線路上的電力潮流。狀態評估的輸出包括電網各節點的發電量或負載量以及電網

的結構，這些資訊將在第二階段的偶發事件分析程序進行分析，藉以判斷網路中所有輸電設備的狀態，例如輸電線路或變壓器能否在系統正常運轉的情況和 N-1 的偶發事故情況下，仍能穩定運轉於其額定容量的限制內。如果有設備超載或即將超載的情況發生，則該輸電線路及運轉狀態將進行第三階段的輸電限制管理分析。經過分析計算後，輸電限制管理程序可獲得各電網節點到該線路的轉移因子，再將轉移因子以及線路的額定容量限制作為關鍵性的安全限制條件進行第四階段的經濟調度。

考慮系統安全限制的經濟調度是區域內單機式壅塞管理的核心和關鍵，除了輸電限制管理程序獲得的關鍵性的安全限制條件，經濟調度程序還需知道機組在下一運轉時刻的可能出力、機組的報價以及各節點的負載預測等資訊。

由於合格計劃體並不向 ERCOT 提供單一機組的發電出力計劃，在局部壅塞市場運轉前，ERCOT 需要先根據所有運轉中機組目前的發電量來預測其在下一個運轉時段的發電量；ERCOT 需要將每個合格計劃體在每一個區域目前的總發電量和下一時刻的包裹式計畫發電量之間的誤差分配到每一部發電機組；ERCOT 還需要將每一個合格計劃體在每一個區域的區域平衡能量調度分配到每一部發電機組，這兩種分配均使用相同的分配係數。對下一時刻的節點負載預測，ERCOT 利用在 15 分鐘內負載的變化量相對較小的特性，根據狀態評估所得到的系統現有各節點負載所占之比例

及下一時刻負載預測總和計算獲得。最後，再根據最小成本原理以及前述的相關資訊，經濟調度程序即可獲得滿足安全限制的機組調度方案。

系統有了機組調度方案和各節點的負載預測值，即可進行偶發事件分析計算，再次尋找可能超載的輸電設備，然後進行輸電壅塞限制管理分析，產生新的關鍵區域內壅塞限制條件，然後再進行經濟調度程序分析以得到更新的機組調度。如此過程將反覆疊代循環，直到系統獲得一個能夠滿足系統所有安全限制且成本最低的機組調度方案。

在局部單機式壅塞管理市場進行結算時，ERCOT 將根據發電機組的類型付給合格計劃體機組調度標準費用，同時將這些局部壅塞管理的費用按照各個合格計劃體的負載比例分攤給各合格計劃體。

3. 多步驟壅塞管理程序(Multi-Step Congestion Management Process)

ERCOT 調度包裹式平衡能量服務投標以解決區域間壅塞時，解決區域間壅塞的費用是直接分攤給造成壅塞的各合格計劃體，如果某一個合格計劃體的能量計劃造成區域間壅塞，ERCOT 會根據區域間壅塞的影子價格向該合格計劃體收取壅塞費用。

在解決局部壅塞時，ERCOT 調度的是單機式平衡能量服務投標，其解決局部壅塞的費用是按照各個合格計劃體的負載比例分攤給各合格計劃體而不是直接分攤給造成壅塞的各合格計劃體。

因此，有必要將區域壅塞管理和局部壅塞管理作明確的區分。ERCOT

採用計劃-定價-調度(Scheduling -Pricing-Dispatching, 簡稱 SPD)程式進行即時壅塞管理。SPD 在即時運轉時刻開始前的 14 分鐘開始啟動，大約 2 分鐘之後結束，結束時向各合格計劃體發出區域包裹式和單機式的調度指令。

SPD 的即時壅塞管理是依序進行的，首先，在滿足區域間輸電限制條件的前提下，根據各合格計劃體的區域能量計劃，調度包裹式平衡能量服務投標，使各區域保持能量供需平衡，此一過程即前述的區域間包裹式壅塞管理市場的過程；然後研判是否出現局部壅塞，如果 SPD 檢測到局部壅塞，則會根據單機式平衡能量服務投標，調度單機增加或減少發電量以解決局部壅塞，此一過程即前述的區域內單機式壅塞管理市場的過程。SPD 的即時壅塞管理步驟說明如下：

步驟 1.

ERCOT 調度包裹式平衡能量服務投標以滿足能量供需平衡，同時解決區域間壅塞，在此步驟 ERCOT 暫不考慮局部壅塞，僅考慮區域間的輸電限制條件。合格計劃體所收到的指令也都是區域包裹式的調度指令，並不涉及到單一機組的發電出力。在包裹式平衡能量調度結果的基礎上，如果 SPD 檢測到下一運轉時刻沒有局部壅塞，ERCOT 就會把此一步驟產生的調度指令作為最後的調度指令發給各合格計劃體，SPD 在此一運轉時刻的運算也就停止了。如果 SPD 檢測到下一運轉時刻有局部壅塞出現，則繼續進行步驟 2 的計算，即解決局部壅塞的計算。

SPD 程式為一即時調度工具，由於受限於計算機運算能力和速度的限制，SPD 無法對每一個局部輸電限制都進行檢測，SPD 只能對預先選定可能發生局部壅塞的區域進行檢測研判，但要如何決定那些區域可能會發生局部壅塞的輸電限制則是一個非常複雜的過程。ERCOT 利用偶發事故分析(Contingency Analysis)程式預測和設定局部壅塞區域。在實際運用時，系統調度員也可以手動設定局部壅塞區域。ERCOT 使用的偶發事故分析軟體(CA)是一個全網路電力潮流計算分析軟體，可以根據最新的狀態評估結果對全網路進行電力潮流計算和分析，分析的情況包括基本網路模型狀況(Base Case)及所有的 N-1 偶發事故狀況(Contingency Case)。如果計算結果顯示某一輸電設備發生超載或其電力潮流接近輸電容量限制，偶發事故分析軟體就會將該區域設定為可能發生局部壅塞並告知 SPD。SPD 在作經濟調度時就會優先考慮這些局部輸電限制並加以解決，以避免發生局部壅塞情形；偶發事故分析軟體亦計算各個發電機組對可能發生局部壅塞區域的轉移因子，如果某一發電機組對可能發生局部壅塞區域的轉移因子達到設定值時，SPD 就會輸入該運轉資訊及相對應的轉移因子，並根據這些資訊尋找最經濟的方式以解決局部壅塞。

至於如何判斷下一個運轉時刻原先設定的區域是否會再發生超載情形，SPD 則是根據各合格計劃體所提交各區域在下一個運轉時刻的能量計劃，按照一定的運算邏輯分配給其在該區域內的所有機組，並參考 EMS

所提供的各機組即時發電量數據，對每一機組的實際發電出力 P 進行第一次調整，調整結果為 P_1 ，此結果即為 SPD 對各機組在下一個運轉時刻發電出力的初次估算。隨後，SPD 再根據第一步的運算結果(每一個合格計劃體的在各區域的包裹式平衡能量調度指令)，對 P_1 再進行調整，得到 P_2 。 P_2 即為 ERCOT 預測出來的各單機在下一個運轉時刻可能的最後發電出力水準。必須完成這些分析計算，SPD 才能預測出那些局部輸電限制在下一個運轉時刻中可能會發生超載。如果檢測到下一個運轉時刻將出現局部壅塞，SPD 就會繼續進行步驟 2 的運算。

步驟 2

SPD 根據單機式平衡能量服務投標以及步驟 1 偶發事件分析軟體所提供的各發電機組對局部輸電限制的轉移因子，以局部調度費用最低為最佳化目標，對單一發電機組發出增加發電量或減少發電量的調度指令，以降低其對局部壅塞的影響，進而達到解決局部壅塞的目的。SPD 根據步驟 1 的分析計算結果所預測的各發電機組在下一個運轉時刻可能的發電出力水準，再對其做一定的增、減發電量的調度，以決定該發電機組最後的發電出力。

為了減弱市場力對局部壅塞的控制與影響，ERCOT 規定單機式平衡能量服務投標必須是根據機組的技術種類而定，而不是由合格計劃體自行任意決定。在每個月初，ERCOT 會根據天然氣的市場價格，對各技術

種類的單機式平衡能量服務投標價格進行調整，並公布在 ERCOT 的網站上。

SPD 運算完成後，ERCOT 會透過 XML 或 Portal 將所有的包裹式和單機式調度指令以及能量市價發給各個合格計劃體。

5.8 ERCOT 的非市場壅塞管理工具

除了購買和調度各類市場服務以完成系統即時的能量供需平衡和解決輸電壅塞外，ERCOT 還會運用一些非市場的壅塞管理工具，在市場機制不足或失效的情況下，發出管制指令以保證系統的穩定可靠與安全運轉。ERCOT 主要有三種非市場壅塞管理工具(Non-Market Congestion Management Tools)，包括：強制容量服務(Out-of-Merit Capacity, OOMC)、強制能量服務(Out-of-Merit Energy, OOME)以及系統安全必須運轉機組服務(Reliability Must Run, RMR)。在一般情況下，ERCOT 均能有效地透過市場解決區域間壅塞，因此，這三種非市場的壅塞管理工具主要是用來協助解決局部壅塞的問題。茲將此三種非市場的壅塞管理工具簡單說明如下：

1. 強制容量服務(OOMC)

OOMC 是機組預定服務的一種，但它並不是在市場中購得，也不依照機組預定服務市價進行補償，而是藉由管制手段由 ERCOT 直接徵用，並依照啟動及運轉成本加一定利潤的方式給予補償。ERCOT 調度的 OOMC 機組，一般都是待機機組或是在運轉中但卻沒有容量服務投

標的機組，由於沒有投標，而 ERCOT 又需要運轉這些機組才能維持系統的穩安全與供電可靠，所以只能發出強制指令要求其啟動併聯並提供服務。ERCOT 調用 OOMC 服務的目的是為了增加系統可用容量(亦稱備轉容量)，合格計劃體必須在能量市場為接到 OOMC 指令的機組提交能量投標，並保證機組在指定的時段內可以併聯在系統上運轉，如此，ERCOT 才能在即時運轉時透過能量市場購買其能量，以協助解決輸電壅塞、能量平衡和其他的系統可靠度問題。

2. 強制能量服務(OOME)

OOME 服務是一種平衡能量增量或減量服務。提供 OOME 的機組並不一定沒有向能量市場提交單機式平衡能量服務投標，在系統即時運轉時，如果運轉平衡能量市場的系統軟體 SPD 沒有調用某一發電機組，而系統調度員另根據其他分析認為需要調用該發電機組或者 SPD 對該機組發出指令但卻與系統調度員的決定不一致，則調度員可能會藉由 OOME 指令調用或調整該機組的發電出力水準，以解決壅塞或某種緊急狀況，確保系統得以安全可靠運轉。在缺少平衡能量減量投標的情形下，調度員可以使用 OOME 指令要求某些機組解聯。因為 OOME 是一種強制服務，所以對於 OOME 的補償並不全是依照能量市價，而是受到相當程度的管制調整。

ERCOT 系統內所有註冊的機組均按其技術類別加以分類，如果某

一機組收到 OOMC 或 OOME 調度指令且確實提供該服務，ERCOT 就會根據其機組技術類別進行補償，此項補償必須確保該發電機組因提供 OOMC 或 OOME 而增加的啟動和運轉費用可以收支相抵，同時可以獲得一定的利潤，如果提供服務當時的能量市價很高，ERCOT 也會依相關規定將合格計劃體當時的超額利潤部分加以收回。

3.系統安全必須運轉機組服務(RMR)

RMR 服務，是指某一機組本來沒有規劃併聯運轉，但由於系統安全可靠度的考量，而需要其經常併聯在系統上運轉，以因應系統隨時可能發生的容量或能量需要。基本上，ERCOT 的 RMR 機組都是一些老舊、效率偏低的機組，因為運轉和維修成本過高，無法在市場與其他機組競爭；如果該合格計劃體希望用該機組向 ERCOT 提供 RMR 服務時，則需要同時向 ERCOT 提交 RMR 合約申請，ERCOT 則會做進一步的技術研究和成本分析，研判是否有需要與該機組簽定 RMR 合約(時間一般不超過 1 年)，或者是有其他更經濟的解決方案。RMR 合約的申請和簽定是自願的，在簽定 RMR 合約前，合格計劃體必須使其機組符合一定的技術規範與可靠度要求。RMR 合約簽定的是一台發電機組的全部容量，而不是部分容量；已經簽定 RMR 合約的機組不能再參加容量或能量雙邊合約市場，也不能用來為其合格計劃體提供輔助服務。但如果 ERCOT 要求某一 RMR 機組併聯運轉於在低載情況時，則其合格計劃體可以在

能量市場為該 RMR 機組剩餘部分的發電能力提供能量投標。又因為 ERCOT 的 RMR 機組都是老舊機組，因此無法長時間連續運轉，如果 RMR 機組在某個月被調用，其合格計劃體必須在兩周內向 ERCOT 提供該機組在該月份剩餘的可調用時數。對 RMR 機組的補償分成兩部分，一部分是容量費率，無論該機組是否被調用，均依即時的容量結算價格給予該機組補償；另一部分是能量費用，每次被調用，ERCOT 均會根據合約給予該 RMR 機組一定的啟動費用和運轉費用。ERCOT 也會根據合格計劃體事後提供的實際成本數據，對最初支付的能量費用進行調整，使其能量費用的支付能符合該機組實際的啟動和運轉費用。

如果調度 RMR 機組是最經濟的選擇，且其所產生的可靠度支持效果又是與 OOMC、OOME 相同，則 ERCOT 會儘量在調用 OOMC、OOME 服務之前就優先調度 RMR 機組。

5.9 ERCOT 的輸電壅塞權(TCR)

輸電壅塞權為市場參與者在遭遇區域間壅塞邊際費用時提供有效的金融保護。區域間壅塞的總費用包括機組預定服務市場和即時能量市場解決區域間壅塞的所有費用。TCR 的擁有者會得到一筆補償，補償金額相當於在該 CSC 上相等數量的計劃電力潮流量所需要支付直接分擔的壅塞費用。ERCOT 對 TCR 的定義是：一份 TCR 就是其擁有者對於某一指定 CSC 在某一指定小時的一份金融上的權力，此金融上的權力使其擁有者能得到一筆補償，補償金

額相當於在該小時內即時能量市場所有 15 分鐘運轉時段的平均影子價格和該小時機組預定服務市場的影子價格之和。

ERCOT 另外有一種 TCR，稱為預留輸電壅塞權(Pre-assigned Transmission Congestion Right, PCR)，在功能面和金融面，PCR 與 TCR 均相同。PCR 是專為某些電力合作社或市政電力公司而設計的，如果某電力合作社或市政電力公司在 1999 年 9 月 1 日之前簽署有長達 5 年以上的電力供應合約，並且合約指定電力需由遠距離的發電機組供應電力，則該電力合作社或市政電力公司可以享有 PCR。對於任何一個 CSC 而言，分配出去的 PCR 不能超過該 CSC 總共擁有 TCR 數量的 25%，但分配出去的 PCR 必須足夠，才能確保電力合作社和市政電力公司在進行合約中指定的遠方電力傳送時不會受到直接分擔的區域間壅塞費用的金融損失。

市場參與者藉由參加 TCR 拍賣購買其所需的 TCR。與 TCR 不同的是：PCR 是依一定的規則分配給合格的市場參與者。某一 CSC 的 PCR 的價格是該 CSC 的 TCR 在年度拍賣的市價的 15%。與 TCR 相同的是：PCR 也可以在 TCR 市場中進行交易。PCR 的擁有者也可以向 TCR 市場購買更多的 TCR。

在進行 TCR 年度和月份拍賣之前，ERCOT 需要事先算出可以出售的 TCR 數量。計算 TCR 年度可出售量的第一步是在年度分析中，藉由系統安全和預先事故分析計算出每一個 CSC 在夏季負載尖峰時的輸電容量。由於系統的情況隨時發生變化，因此 CSC 的實際輸電容量也不停地在發生變化。ERCOT

藉由考慮夏季負載尖峰時各節點的負載預測、各節點以及節點所在壅塞區域對 CSC 的轉移因子之差，對預測 CSC 的輸電容量做出調整。經調整後的 CSC 輸電容量即為該 CSC 年度可出售的 TCR 數量。在 ERCOT 電力市場，任何合格計劃體對某一 CSC 所擁有的 TCR 和 PCR 的總和不能超過該 CSC 的總 TCR 數量的 25%。

在年度拍賣時，ERCOT 會針對拍賣年度的每一小時，出售每個 CSC 年度 TCR 可出售量的 60%和 PCR 之差(即 $60\% \times \text{年度 TCR} - \text{PCR}$)，年度 TCR 的最終分配則是依據年度拍賣結果而定。在年度拍賣時，ERCOT 使用 TCR 年度可出售量計算合格計劃體的 25%限量擁有權。年度 TCR 拍賣必須在每年 12 月 15 日之前完成，日期由 ERCOT 決定後公告。

在月份拍賣時，ERCOT 會在確保市場收支平衡的前提下，根據對該月份所做的系統預測決定每一個 CSC 的 TCR 可出售量。所謂的市場收支平衡是指在即時能量市場和機組預定市場對所有的 TCR 進行結算後，ERCOT 不應該出現盈餘或虧損。月份拍賣也是對拍賣月份的每一小時逐一進行。月份拍賣時所拍賣的每一個 CSC 的 TCR 數量是其 TCR 月份可出售量減去 PCR 再減去 TCR 年度拍賣已售出量(月份 TCR - PCR - 已售出的年度 TCR)。月份 TCR 的最終分配則是依據月份拍賣結果而定。ERCOT 使用 TCR 年度可出售量和月份可出售量兩者中之較大者計算合格計劃體的 25%限量擁有權。月份 TCR 拍賣必須在每月 15 日之前完成，日期由 ERCOT 決定後公告。

陸、系統全黑復電相關議題

6.1 前言

如何從全黑中迅速恢復供電，一直以來都是電力系統運轉的重要議題，若能有效縮短復電時間則可減少全停電對經濟發展與國家社會之衝擊。全黑啟動能力為電力系統從全停電狀況中迅速恢復正常供電的關鍵能力，電力系統全黑啟動計畫依各電力系統不同的結構和條件而定，原則上包括確定系統狀況、決定復電程序、傳播系統狀態訊息、執行復電程序、發電廠與電網的電源調度及開關操作等等。電力系統的運轉除了必須提供足夠的能量滿足負載需求、維持供需平衡外，還必須確保系統的安全性及可靠度。因此，如何建立一個完整的全黑復電計畫是每一個電力系統運轉部門所需關注研究的問題。

以下就美國德州電力市場之全黑復電策略、指導方針，及系統全黑復電相關理論作一研究整理。

6.2 ERCOT 系統全黑啟動能力需求標準

任何 ERCOT 合格的系統全黑啟動機組都必須符合以下要求[11]：

- 1.經驗證可行的通訊傳輸回路(Control Communication Path)
- 2.主要及備用可接收指令的電話系統(voice circuits)
- 3.通過基本啟動測試(Basic starting test)
- 4.通過加壓線路測試(Line-Energizing Test)

5.通過取載測試(Load-Carrying Test)

6.通過啟動下一部機組測試(Next Start Resource Test)

7.若無法自行啟動，但具備經 ERCOT 認定在系統全黑情況下，可供給電力使其啟動的其他電力池（非 ERCOT 系統）之後備電源者，並能通過以上測試。

若無法自行啟動，但具備經 ERCOT 認定在系統全黑情況下，鄰近輸配電網公司(TDSPs)可供給電力經切換其他電力池之電源使其啟動者，並能通過以上測試。

若依賴上述非 ERCOT 的輸配電公司提供啟動電源者，則必須提出此輸電服務的承諾文件。當該機組全黑啟動能力經成功的驗證後，ERCOT 會發給資格證書，並允許該機組得以參與輔助服務之投標。所有的資格測試都必須在每年的 12 月 1 日前完成，ERCOT 可拒絕任何未在時限內完成資格測試的機組參與輔助服務，或者調降機組每小時待機費用至 0 元，直到該機組再次通過認證測試。

6.3 全黑啟動機組測試項目

6.3.1 基本啟動測試(Basic starting test)

1. 全黑啟動機組最基本的能力，便是能夠不靠外電自行啟動，或者靠連接 ERCOT 以外的常開連接線路取得其他電網電源啟動[12]。本測試每年需測試一次，為期一個星期；本測試必須在不中斷電力負載傳輸及

不影響 ERCOT 其他發電廠權益下經由 ERCOT 允許後進行。

2. ERCOT 必須與全黑啟動電廠及電網調度中心確認測試時間。
3. 除了靠其他 ERCOT 系統以外電力池提供可靠電源供應的機組外，全黑啟動機組（包括輔助的負載）必須完全獨立運轉。靠其他電力池提供電源供應的機組，測試步驟為他網電源投入、機組啟動、內部取載、切離他網電源；剩下步驟則與其他全黑啟動機組相同。
4. 全黑啟動機組將不靠 ERCOT 系統輔助而自行啟動。
5. 全黑啟動機組啟動後，將在無載情況下（或加入廠內輔助負載）維持至少 30 分鐘電壓及頻率的穩定，
6. 機組必須確認本身的電壓/頻率電驛、過激/欠激磁保護設定在適當的值，並確保其他保護裝置不會在測試的過程中無故跳脫機組。
7. 基本啟動測試的認證有效期限為一年。

6.3.2 加壓線路測試(Line-Energizing Test)

1. 全黑啟動機組加壓線路測試必須在輸配電公司電網系統狀況允許之下同意後執行，但至少每 3 年測試一次。測試的時間且必須經由 ERCOT、輸配電公司、全黑啟動電廠三方共同協商後決定。
2. 測試期間必須停用足夠的傳輸線來執行加壓線路測試，可到達下一個欲供給負載的電廠，以滿足 ERCOT 復電計畫；ERCOT 必須負責傳輸線的聯繫和調度以滿足測試需要。

3. 全黑啟動電廠必須與輸配電公司協調需停用測試的線路，並在測試日 30 天前向 ERCOT 提出申請。
4. 本測試可安排與機組啟動測試同時進行。
5. ERCOT 將指令全黑啟動機組直接加壓輸電線路，直到線路兩端都監視到電壓和頻率值；在 ERCOT 同意下，在機組啟動前輸電線路可直接連接到發電機，當機組啟動時直接對線路加壓，使其符合速度。
6. 全黑啟動機組必須在無載的狀況下（或利用廠內負載）保持電壓和頻率的穩定至少 30 分鐘。
7. 本測試可在 30 分鐘時間間隔內與基本啟動測試同時進行。
8. 本測試合格之有效期限為 3 年。

6.3.3 取載測試(Load-Carrying Test)

1. 全黑啟動機組必須維持電壓和頻率的穩定，並提供電力給 ERCOT 預先規劃的負載，此類取載測試必須在系統情況允許之下進行，並至少每 5 年測試一次。
2. 本測試可安排與機組基本啟動測試和加壓線路測試同時進行。
3. 輸電線公司調度員會調度足夠的負載給全黑啟動機組，以符合 ERCOT 全黑啟動計畫，且機組必須在取載後維持電壓和頻率的穩定達 30 分鐘，在此情況下並不另外加入附近區域的立即性負載，且本測試可接續在無載測試之後。

4. 本測試可在 30 分鐘間隔時間內與基本啟動測試和加壓線路測試同時進行。
5. 本測試合格之有效期限為 5 年。

6.3.4 啟動下一部機組能力測試(Next Start Resource Test)

1. 全黑啟動機組提供下一部機組啟動的最大馬達負載，並且持續維持電壓和頻率的穩定是必須要測試的。
2. 為了要通過測試：
 - (1) 潛在的全黑啟動機組必須要能啟動 ERCOT 決定的下一部機組，或提供下一部機組啟動所需的最大馬達負載電源。
 - (2) 全黑啟動機組必須經由 ERCOT 成員或合格的第三單位，經由模擬研究驗證其有能力起動下一部機組的最大所需負載。
3. 潛在的全黑啟動機組投標者必須向 ERCOT 取得其先前規劃啟動的下一部機組資料，以滿足其啟動所需負載。
4. ERCOT 可要求任何發電機組提供其起動所需的最大馬達負載資料，以便其他全黑機組得以提供足夠的啟動電源，若 ERCOT 提出類似要求，QES 必須在 30 天內將資料送達，且資料必須包括保護電驛設定等相關資訊。
5. 當新的全黑啟動機組被選出來時，本測試必須重新執行一次。
6. 本測試可與基本啟動測試、加壓線路測試及取載測試同時進行。

7. 在本測試完成同時，全黑啟動機組必須維持電壓和頻率的穩定達 30 分鐘以上。

8. 直到下一個新機組被選出前，本測試的認證均為有效。

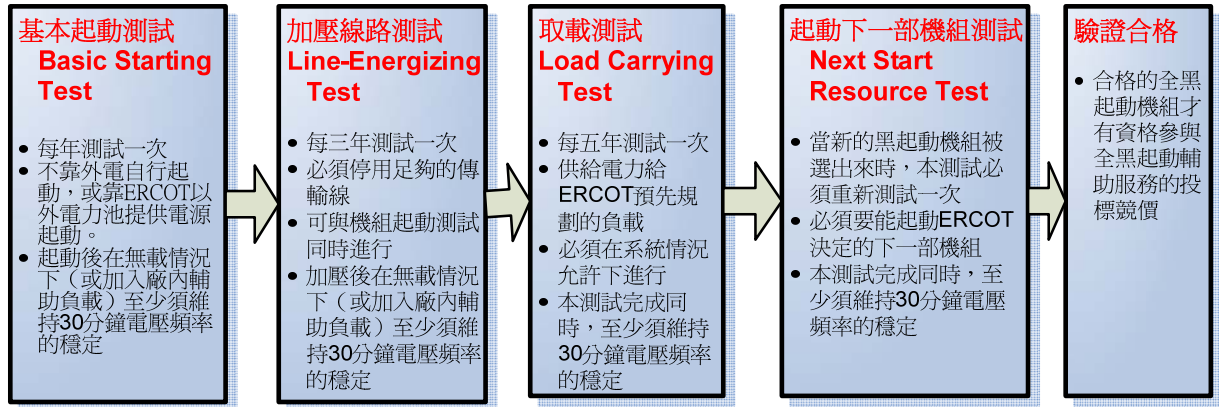


圖 6.1 合格的全黑起動機組測試流程圖

6.4 ERCOT 系統全黑啟動執行準則

本章節提出 ERCOT 全黑計畫的最小資訊需求，每一個輸電業者 (Transmission Operator, TO)、合格的排程機組公司 (Qualified Scheduling Entity, QSE)、發電業者 (Generation Resource) 均以此為全黑計畫及教育訓練的技術參考資料[13]。

6.4.1 決定系統狀況 (Determining System Status)

1. 如果發電業者及輸電業者失去匯流排及進出口端輸電線路的電壓，則值班人員將認為這是一個廣大系統的停電事故。如果可能的話，輸電業者必須直接告知 ERCOT 調度員此一狀況。已訂約的全黑啟動機組必須履行全黑起動程序，並與所屬的輸電業者建立通訊管道；其他的發電機組必須聯絡他們的發電業者並等待輸電業者的指令。如果可能

的話，ERCOT 將利用專線與發電業者及輸電業者取得聯繫，並隨時更新系統資訊。

2. 可以預期的，如果無法建立與 ERCOT 間通訊，輸電業者將自行評估系統狀態，並且獨立執行全黑起動計畫。
3. 必須優先考慮核電廠的狀態及設備，並調度供應其所需之輔助電源。
4. 系統狀況的檢視必須包含下列幾個基本項目（但並不僅限於這些項目）

(1) 停電的區域範圍

(2) 未停電的區域範圍

(3) 在未停電的區域範圍內可使用的發電備轉容量

(4) 可用的發電廠及重新起動所需的時間

(5) 重要幹線、發電廠的輸電線斷路器及設備狀態。

(6) 與其他區域聯絡點上的設備和傳輸線斷路器狀態

(7) 區域外部燃料供給狀態

(8) 低頻電驛動作情形

(9) 與跳脫回路相關聯的電驛動作指示

6.4.2 確認通訊狀態(Verifying Communications)

可靠的通訊是 ERCOT 系統崩潰後即時復電的重要關鍵，就像的全停電或部分全停電後初始狀態的評估，通訊是必須被測試和驗證的。特別是在 ERCOT 全系統崩潰的情況下，沒有通訊的狀況下發電業者是不可能操

作的。這就是在這個關鍵時刻，輸電業者和發電機組能否直接通訊聯繫的重要意義了。

ERCOT 系統操作員必須：

1. 驗證或建立與輸電業者的通訊路徑
2. 驗證或建立與發電業者的通訊路徑
3. 驗證所有 ERCOT 的電話專線
4. 定期的傳達系統資訊給輸電業者及發電業者。
5. 對停電區域指令執行全黑復電計畫

輸電業者必須：

1. 向 ERCOT 回報轄區系統狀況
2. 與約定的全黑啟動機組和發電業者建立聯繫
3. 開始執行全黑啟動計畫
4. 與其他區域的重要相關發電廠建立通訊管道

發電業者必須：

1. 向 ERCOT 回報所屬發電機組狀況。
2. 如果需要的話，協助輸電業者。
3. 確保發電機組已經準備好接受輸電業者調度指令與系統連結。

全黑啟動機組必須：

1. 將機組本身與系統隔離

- 2.與輸電業者建立聯繫

- 3.若無法與輸電業者建立聯繫，則與 ERCOT 建立聯繫

- 4.啟動全黑起動機組，且請求輸電業者給予互連取載

本程序的重點在於建立任何可用的主要通訊設備，備用的通訊設施也要讓工作人員知道如何取得。而完整的通訊管道是有條不紊復電的必要條件，為了維持通訊設備的可用性，調度員必須確保對話指令是簡要且有效率的。

6.4.3 系統復電準備（Preparing for System Restoration）

想要有條不紊的復電，通常需要先把停電範圍作區域性劃分，並在復電前將眾多小區域系統掌控管制好。在區域劃分的過程中，通常以下列目標為方向（但並不侷限於此這些目標）：

1. 核電廠的外援電力供應為第一優先
2. 確保復電區塊的負載可將冷取載(cold load pickup)問題最小化
3. 調度員必須證明他的斷路器操作指令在緊急情況下是完整的

6.4.4 有關發電廠的問題（Bringing Up Plants）

1. 首先要供給電力防止發電廠的設備損壞及提供核電廠的外援電力，接著供給起動準備中的機組使其能最迅速的併聯，調度員必須注意所有的大型發電汽機在併聯後都需要提供一個最小發電需求的負載。
2. 當一個簽約全黑起動電廠的傳輸線及開關廠全停電時，必須有程序的起

動其後備電源，電廠在尚未取得轄區輸電公司聯繫下，將不需同步併聯取載。

3. 沒有全黑起動能力電廠必須先擬定一個標準作業程序，以等待外電供給時得以準備受電，當輸電公司送電至該電廠開關廠時便可以直接連接發電設備，輸電公司將協調並起動最大馬達以帶動發電機組發電，並同步併聯輸電線與發電機的斷路器。
4. 電廠調度員必須在復電過程當中控制頻率的穩定，並且維持頻率介於高、低頻電驛跳脫設定之間，若使用機組低速跳脫設定會更好。
5. 當發電機併聯後必須立刻使用手動電壓調整功能，且要預留備轉容量以維持機組穩定。
6. 如果可能的話，當發電機併聯後自動頻率控制必須放在自動（Automatic）位置，以確保調速機能及時反應來調整頻率。

6.4.5 選擇線路（Picking Up Lines）

1. 鄰近區域發電廠的聯絡線必須儘快建立起來，第一優先的是供應核電廠廠內用電以使其安全的停機。
2. 輸電線路必須要用強健的發電機組來加壓，開關場的斷路器及線路上的電容器組必須啟斷，直到需要控制電壓時才予以投入。
3. 加壓自耦變壓器（345/138 kV、138/69 kV）和電抗器時，必須經由電廠操作員允許，以增加發電機場電流並增加穩定性，同時這個反應電流將

幫助維持輸電線路電壓穩定。

4. 必須小心操作 345kV 輸電系統，因為充電電流會產生高電壓，當加壓輸電線路時，小電流或無載情況下均可能會產生過高的電壓導致損壞開關場設備。(註:345kV 輸電線大約提供 1 MVAR/mile 的充電容量,138kV 輸電線大約提供 0.3 MVAR/mile 的充電容量)
5. 當加壓輸電線路時，在輸電公司調度室裡的調度員必須小心操作，不能在故障尚未清除時投入斷路器。調度員必須注意，當輸電線路線路跳脫且系統全停電時，必須請現場人員確認開關場設備狀態及保護電驛動作指示。
6. 當加壓輸電線路或無載變壓器時有可能會產生鐵共振，輸電線路操作員在操作時必須小心防範不尋常的高且持續性的電壓。345kV 輸電線路更容易發生此種現象，且應盡量減少在復電初期使用它們。
7. 阻抗（測距）電驛若不具備失步（out of step）閉鎖功能的話，將會在復電初期因系統搖擺而跳脫(好的電驛指示應存在阻抗電驛指示和非接地故障指示)

6.4.6 取載（Picking Up Load）

1. 一般而言，沿著 345kV 經自耦變壓器放射出來的 69kV 和 138kV 線路可用來加壓取載，當加壓一個 345kV 回路和自耦變壓器的組合時，兩者必須同時加壓以防止過電壓問題產生，對於一個輕載機組而言，負載

少量的遞增較能安全的取載。

2. 冷負載 (Cold Load) 取載所衍生的衝擊電流，約為一般正常取載情況下負載電流的 10 幾倍以上，它將會在 2~4 秒內自然衰減成 2 倍的負載電流，並維持 150%~ 200% 的切離前電流達 30 秒之久。
3. 供應核電廠恢復所需用電應為第一優先，若此緊急的優先負載已經恢復，則必須考慮恢復低頻電驛下的負載控制。
4. 取載時輸電線調度員必須與電廠值班人員密切聯繫，因為在每一次操作過程中取載量與發電量很難匹配。一般來說，輸電線調度員在小系統獨立運轉的復電過程當中，每一次取載量都應該低於總發電容量的 5%，如果取載量過大，則衝擊電流將會導致過電流電驛跳脫並將負載再次切離系統，斷路器操作員就必須要花足夠的時間等待機組從突增的負載中回復。
5. 在獨立系統單機運轉且負載超過控制範圍 50% 的情況下，輸電線路調度員必須小心的操作直到下一部備援機組上線併聯。一般來說，在尚未恢復到系統正常運轉情況前，任何一部機組都不應承載超過正常範圍的 80%。
6. 從電廠獨立運轉開始，電廠操作人員就必須監視和調整機組的電壓和頻率；頻率必須維持高於 59.8 Hz 並盡可能接近 60Hz，電壓必須盡可能維持在正常額定值，當越來越多機組和負載加入系統後，電壓和頻率就會

趨於穩定。

7. 民生和商業用電可能比工業用電負載容易取載和維持，這是因為工業用負載的變動較大。
8. 輸電線路調度員在取載後，再次投入電容器組時必須小心調度，因為減少了系統故障功率，系統電壓的變化將會非常大。

6.4.7 獨立系統間的同步 (Synchronizing Between Islands)

1. 輸電線路調度必須派現場工作人員去確保每一回線末端，將用來做獨立系統間同步合聯的斷路器狀態是打開的，擁有較多發電機組併聯數量的區域優先對線路加壓。
2. 如果可行的話，開關場人員會將合聯點上的聯絡斷路器經同步確認後併聯；如果頻率差異過大，則調度員必須與規模較小的獨立系統發電機組連線，聯絡調整發電機的頻率以達到同步的目的。
3. 當同步時，斷路器兩端的相角及電壓均需要量測。相序亦必須要同相序，如果可能的話要將相角差減小到 10° 以下，最好趨近 0° 。
4. 一般而言，線路負載盡量不要超過額定容量的 50%，直到建立了許多聯絡線的穩定狀態為止，額外的聯絡線若能越早投入越好。

6.5 ERCOT 的協調角色

在全黑復電的初期，ERCOT 必須盡力協調並監視每一個輸電公司的復電計畫、掌握系統狀態及加強電力市場成員間的資訊交流[14]。ERCOT 另外也

要監視發電機組運轉情況的變化、傳輸線的復用情形及任何再次投入的負載情況。如果可能的話 ERCOT 聯絡熱線（直通電話）或備用通訊系統，將定期的更新同步市場參與者的系統資訊。

系統的狀態檢視必須包括（但不限制於）下列項目：

1. 通訊能力
2. 輸電系統
3. 發電系統
4. 燃料供應
5. 任何其他與全黑復電相關的狀況

ERCOT 系統調度員必須確認每一個輸電調度公司已經成功執行他們的全黑復電計畫，每一個發電廠也在全黑機組起動期間都成功執行他們預先撰寫的全黑起動步驟和計畫，ERCOT 系統調度員必須利用全黑起動系統操作圖，指揮調度電力市場各個成員們互相支援。

在兩個輸電公司的獨立系統合聯之前，ERCOT 必須指定由哪一個獨立系統負責同步頻率調整的工作，一開始也許只是一個發電廠。在復電過程中 ERCOT 將利用此方式合聯許多小的獨立系統，並儘量使其能由同一家發電公司來負責頻率調整的工作。在合聯許多獨立系統後，ERCOT 將同意更多發電機組和負載加入系統，未經批准的將不會加入系統。圖 6.2 為 ERCOT 全黑復電調度協調關係圖。

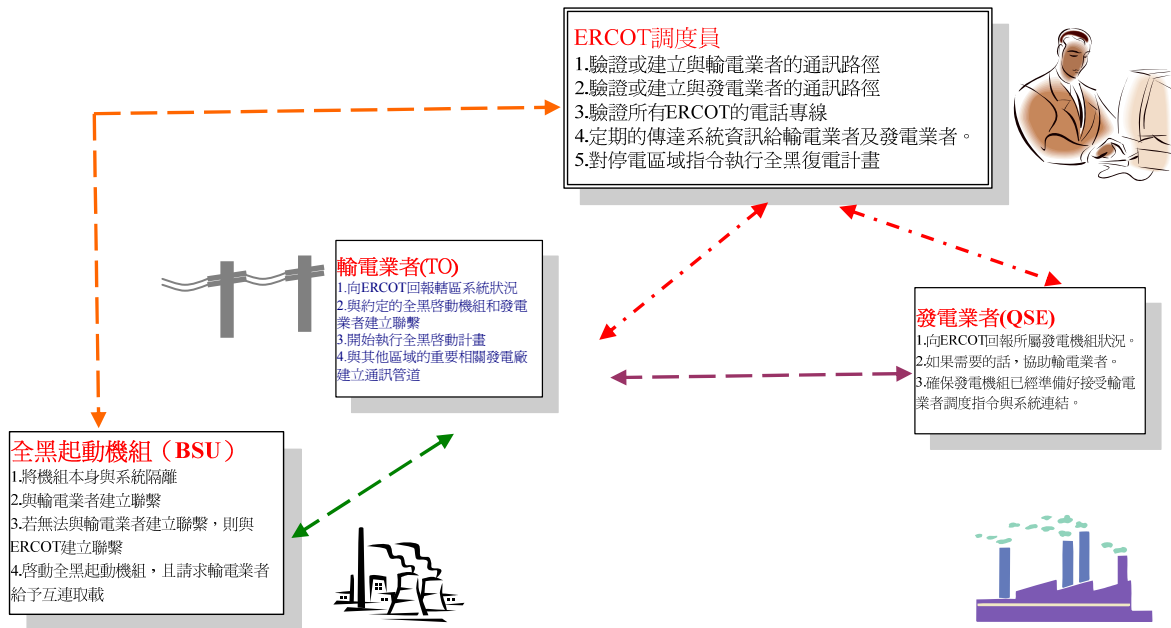


圖 6.2 為 ERCOT 全黑復電調度協調關係圖

ERCOT 及輸電調度員全黑起動計畫準則如下[15]：

1. ERCOT 將維持（隨時修正）全黑起動計畫並與與這個調度準則一致，
 - ERCOT 全黑起動計畫必須以考慮電業者、輸電業者及發電廠的相關條件。
2. ERCOT 系統運轉人員將定期的審核這些文件，建議 ERCOT 全黑起動計畫包括下列項目：
 - (1) ERCOT 復電策略和方針
 - (2) 確認發電業者和輸電業者的關係和責任，及電力市場參與者在復電期間必須配合的條件。
 - (3) 確認全黑起動機組包括：
 - a. 發電量
 - b. 傳輸能力

c. 通訊能力

d. 燃料供給量

(4) 互相協助的工作安排

(5) 發電機突發事故的應變計畫

(6) 確認關鍵負載需求

(7) 確認特殊設備需求

(8) 針對 ERCOT 系統調度員、發電機組、發電業者、輸電業者調度員

提供一般的簡介和指導方針，和他們各別的通訊人員名單。

(9) 公眾通告程序

(10) 回復電力市場運作的程序

(11) 電網調度員將維護該區域的全黑起動計畫，需與 ERCOT 全黑起動

計畫協調一致，但可加入該區域的一些特殊細節。

電網調度中心全黑起動計畫的將提供主要目標、責任，及其他市場成員

和電網調度在全黑時預期的動作[16]：

1. 任務和責任：確認各電網調度在 ERCOT 及發電機組間的任務。
2. 確認全黑事故：清楚的說明全黑事故發生時，電網調度需確定及驗證的動作；並且在 ERCOT 或其他市場成員指令動作之前做全黑復電的初步動作。
3. 評估和驗證通訊能力：包含驗證通訊能力的程序和計畫去應付不同的

系統。

4. 從 ERCOT 轉移出來的控制權：必須承認的，在全黑事件當中電網調度將擁有 ERCOT 的權力去調度發電機並加壓線路和取載，電網調度要瞭解除非全黑狀況被確認，要不然從 ERCOT 轉移這種控制權力是不大可能、也不會被承認的。
5. 起動全黑起動機組：主要依靠簽約的全黑起動機組起動系統，無論如何，輸電調度的計畫也必須說明非簽約的全黑起動機組容量，如果可能的話也要把這些容量考慮進來。
6. 建立穩定的孤島系統：復電初期的重點在於建立穩定的孤島系統並包含計畫同步併聯的點，電網調度計畫也要考慮，越大越穩定的孤島系統會越難與鄰近孤島系統同步。
7. 到達同步點：重點放在系統恢復而不是放在用戶復電，電網調度計畫首要便是建立一個穩定的孤島系統，並將電送到指定的併聯點。
8. 孤島系統的同步：當孤島系統已經準備好同步時，命令調度員與 ERCOT 聯絡，實際的同步將由兩個輸電調度直接聯絡合聯，ERCOT 將負責協調頻率控制。輸電公司內部對於孤島系統的復電計畫必須包含負載取載和發電機併聯。
9. 同步後的用電恢復：要注意的是在兩孤島系統同步之後，ERCOT 將會指令增加更多的發電和負載，電網調度將繼續增加負載，但必須在

ERCOT 計畫中詳細明確且策略性的指令之下進行。圖 6.3 為 ERCOT 系統規劃同步點地理位置圖

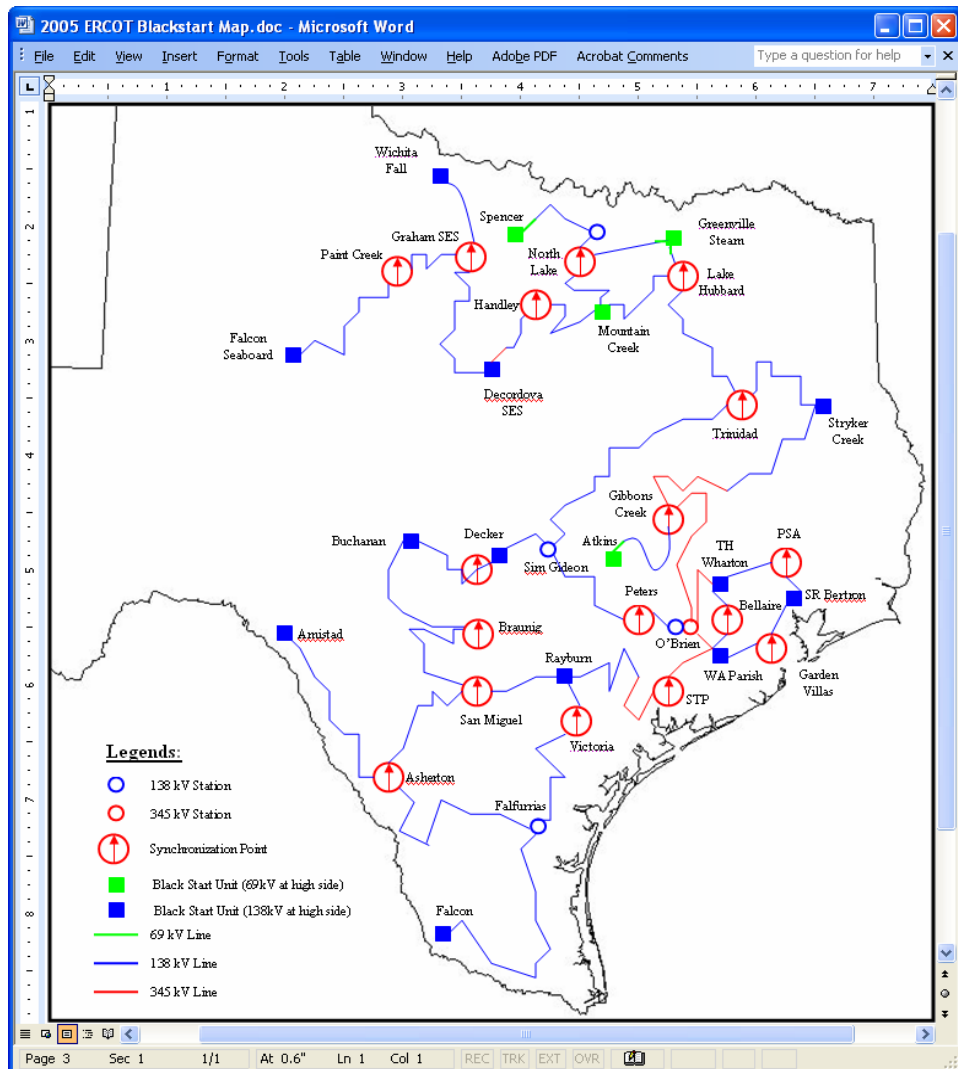


圖 6.3 ERCOT 系統規劃同步點地理位置圖

輸電調度計畫中的通訊程序必須提供下列幾項資料[17]：

1. ERCOT 聯絡資料
2. 電網調度公司所轄簽約的全黑起動機組列表資料
3. 系統內所轄的電廠及發電公司的聯絡資料及地點資訊
4. 包含在輸電公司計畫內所轄非簽約的全黑起動機組列表

5. 輸電公司所轄的電廠及發電公司的聯絡資料及地點資訊

全黑起動計畫中額外增加的機組列表：

1. 輸電公司所轄的電廠及發電公司的聯絡資料及地點資訊
2. 每一個電廠的起動資訊
3. 鄰近的輸電公司列表
4. 通訊資訊和輸電公司所轄系統的聯絡點位置

表 6.1 為 ERCOT 全黑起動機組資訊表

電網調度計畫中，調度的章節內容必須至少增加下列項目，並包含孤島系統的變電所操作：

1. 全黑起動機組起動和取載的程序
2. 下一個被起動機組的起動和取載的程序
3. 負載資訊

(1) 每一個孤島系統的重要關鍵負載

(2) 提供電廠的重要負載（燃料供應）

(3) 輸電路徑

a. 首要輸電路徑的開關操作程序

b. 次要輸電路徑的開關操作程序

c. 從全黑起動機組到合聯點的首要及次要輸電路徑單線圖

d.其他輸電公司操作線路的特殊考慮或操作程序

(4)同步點

a.每一個同步點的位置和擁有人資訊

b.同步的操作程序及沒一個地點的特殊操作需求

表 6.1 ERCOT 全黑起動機組資訊

TDSP	Station Mnemonic	Plant Full Name	Ptotal
AEN	DECKER	DECKER	200
BTU	ATKINS	ATKINS	70
CPS	CALAVERS	O.W SOMMERS	880
DENTON	SPNCER	SPENCER	151
EXELON	_AZ	LAPORTE	154
EXELON	MCSES	MOUNTAIN CREEK	33
FRONTERA	FRONTERA	FRONTERA	523
GEUS	STEAM	STEAM	46
LCRA	BUCHAN	BUCHANAN	37
MIRANT	WFCOGEN	WICHITA FALLS	80
ONEOK	FLCNS	FALCON SEABOARD COGEN	200
STEC	AMISTAD	AMISTAD	66
STEC	FALCON	FALCON	34.5
STEC	RAYBURN	RAYBURN	246.5
TPS	SILASRAY	SILAS RAY	92
TX GENCO	SRB	S. R. BERTRON	821
TX GENCO	THW	T. H. WORTHON	967
TX GENCO	WAP	W. A. PARRISH	1191
TXUED	DCSES	DECORDOVA	888
TXUED	LCSES	LAKE CREEK SES	317
TXUED	MGSES	MORGAN CREEK	756
TXUED	PBSES	PERMIAN BASIN	725
TXUED	SCSES	STRYKER CREEK	675

6.6 ERCOT 選擇全黑啟動機組的準則

ERCOT 利用下列標準選擇最小成本的全黑起動機組[18]:

- 1.模擬在 48 小時內恢復 ERCOT 系統尖峰負載 90%的用電(Simulated restoration of 90% of ERCOT peak load within 48 hours)
- 2.能在 8 小時內恢復核能電廠的廠外供電(Expected restoration off-site)

power to nuclear units within 8 hours)

- 3.全黑起動機組鄰近主要負載中心(Proximity of Black Start units to major load centers)

機組選擇標準可再區分成以下兩部分

- 1.發電機群組選擇標準(Group selection criteria)

- (1)價格 Price(\$/hour)

- (2)Amount of MW pickup(55,000 MW)總取載量

- (3)Restoration time (48 hours)系統恢復時間

- 2.特定機組選擇標準(Specific unit selection criteria)

- (1)機組裝置容量(Capacity of Black Start unit)

- (2)符合欲起動下一部機組之起動容量(Capacity of next-start unit)

- (3)機組起動時間(Start-up time)

- (4)鄰近核電廠 Proximity to nuclear plant

- (5)鄰近負載中心 Proximity to load centers

ERCOT 利用一微軟輔助程式，並設計依該據準則的權重大小，以自動選擇並決定最佳機組；此程式可模擬比較全部潛在或即將參與全黑起動服務機組的起動時間、升載時間、加壓取載時間、起動下一部機組的時間等，以符合機組選擇標準，每一部機組將會接續起動下一部機組而不需等待其它機組的起動結果。

6.7 全黑復電理論

6.7.1 系統全黑概述

全黑(blackout)是指整個電力系統因事故崩潰停止運轉後，系統處於“電力系統全停電”狀態，此時須透過電力系統中具有自行啓動能力發電機組(即全黑起動發電機組)的啓動，來帶動無自行啓動能力的發電機組，逐步擴大系統的復電範圍，最終實現整個系統的恢復供電。“全黑起動”成功的關鍵在於具自行起動能力的全黑起動發電廠的啓動，全黑啓動發電廠必須具備在沒有外來電源供給的情況下，依照電力調度中心的指令，能夠自行啓動發電機組並開始最初的電力系統之復電工作。全黑啓動的要求是以適宜的啓動功率與復電時間完成，即用適宜的全黑啓動功率來啓動大型發電機組，以滿足所要求復電時間的需求，並嚴格遵循系統復電計劃，以使電力系統復電操作步驟最少。為能加速復電，減少復電時間，通常會將電力系統依結構劃分成幾個子系統，分別配置各區域充足之全黑起動容量，全停電時各區域同時復電，以縮短復電時間。

系統全黑的發生，通常會經歷以下程序[19]，圖 6.4 為常見的全黑事件發生流程圖：

1. 初始事故(Initiating Event)
2. 系統分裂(System Separation)
3. 形成獨立小系統 (Formation of Islands)

4. 獨立系統之發電與負載失衡(Load/Gen Imbalance in Island)
5. 獨立系統全黑(Blackout of Island)
6. 開始系統恢復程序(Begin Restoration Process)

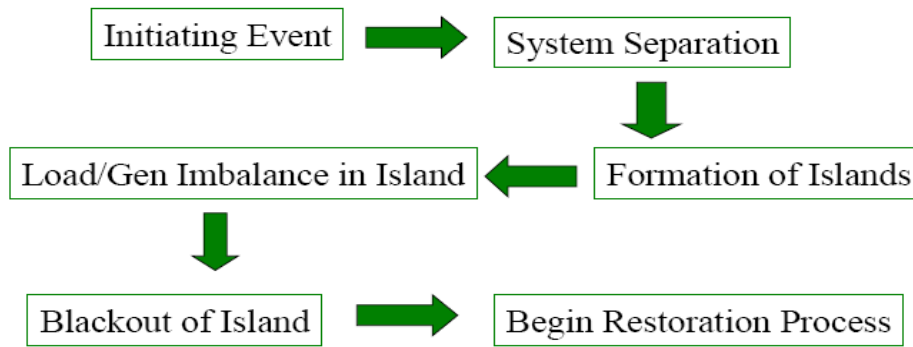


圖 6.4 常見的全黑事件發生順序圖

6.7.2 系統復電的目標和過程

電力系統復電的目標是在資源允許的情況下，使處於全黑狀態的系統在最短的時間內，最大限度地恢復停電區域內的重要負載；同時，整個電網在採取一系列的復電工作後回復到安全經濟運轉狀態。

系統恢復最終是要求完成對目標系統的復電，對某一特定系統，由於可能面對的是不同程度的故障後初始狀態，因此制定通用的復電計畫通常很困難。但可以將復電問題當作目標定位，即考慮的不僅是故障後的初始狀態，還包括最終狀態，困難就會得以緩解。目標系統是指復電過程結束時系統達到的穩定狀態，可用復電的發電機及其出力和負載情況來表述。因有些設備可能損壞，或不能及時起動，負載隨時間變化等原因，目標系統不必和故障

前完全相同，但不同情況下復電的目標系統可能一樣。

一般說來，一個典型的電力系統復電過程可以分為以下三個階段：第一階段，確定事故後的系統狀態，決定全黑起動電源，劃分小系統，決定需要優先復電的負載；第二階段，確定復電路徑和取載小系統；第三階段，恢復絕大部分甚至全部負載。圖 6.5 為系統復電流程圖，其具體步驟如下：

- 1.系統故障時先確定系統狀態，當出現系統崩潰或大面積停電時，應儘快投入系統復電計畫，並確定可行的小系統劃分、全黑起動電源、需優先恢復的負載和復電路徑。
- 2.將系統分割成多個子系統，同時起動子系統中具有黑起動能力的機組，若存在聯絡線支援，可考慮將它與黑起動機組配合以儘快復電。
- 3.具有全黑啓動能力電廠的現場運轉人員應自行啟斷所有對外輸電線開關，其他停電的廠與變電所應啟斷匯流排開關或匯流排分段開關，並在每一組匯流排上保留一個可能來電的電源開關，其他電源開關全部啟斷，這樣有助於簡化網路結構和實現快速復電。
- 4.各區域小系統中具有全黑啓動能力的發電機組啓動後，為確保穩定運轉和控制匯流排電壓在規定範圍，可及時投入一定容量的負載，並儘快向此小系統中的其他電廠送電，以加速全系統的復電。
- 5.具有全黑啓動能力的機組復電發電後，應儘快帶動其他機組啓動。根據機組性能合理安排機組復電順序，儘快完成小系統內機組的併聯運

轉。

6.各小系統之間應事先確定適當的合聯點，並完成同步併聯，逐步達全系統的復電。

7.恢復剩餘的負載，最終完成整個系統的正常運轉。

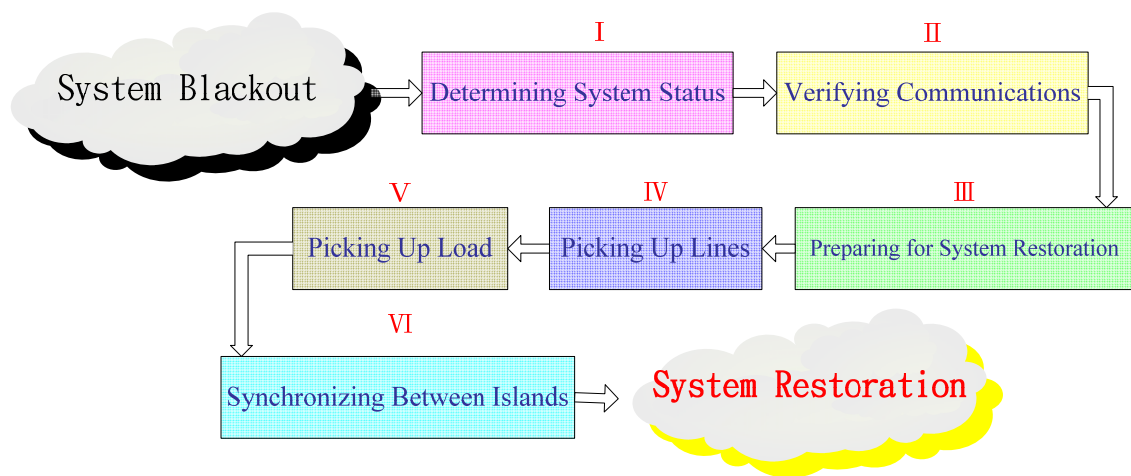


圖 6.5 系統復電流程圖

6.7.3 復電策略的選擇

要使復電計畫完善，必須要採用適合系統限制條件和特性的復電策略；為了確保在最短的時間內有條不紊的恢復系統供電，必須考慮電源分配和復電策略執行方法的協調。現各大電力系統廣泛採用的幾種復電策略列舉如下 [20]：

1. 向上恢復(Build-Upward)：許多系統如 Philadelphia 電力公司將系統分為具有全黑起動能力的子系統，恢復過程中再同步這些子系統；主要的任務包括全黑起動機組的起動、子系統的恢復和子系統的合聯。

2. 向下恢復 (Build-Downward) : 一些小的或聯合公司擁有的較低電壓網路，先聯合全黑起動的功率並提供至非全黑起動機組，從而充電整個網路；主要任務包括全黑起動機組的起動，網路充電，非全黑起動機組的起動。
3. 向內恢復 (Build-Inward) : 紐約聯合愛迪生公司 (NY ConEdison) 的策略是透過聯絡線的幫助加壓 345KV 輸電走廊。輸電走廊連接著中心發電廠，從而起動機組，完成系統恢復。其主要任務是充電 345KV 輸電走廊和起動非全黑起動機組。
4. 向外恢復 (Build-Outward) : 紐約聯合愛迪生公司採取的另一策略是在無聯絡線幫助下，先將內部的 138KV 環網恢復，而後再向外恢復；主要過程包括起動全黑起動單元，138KV 環網加壓和非全黑起動機組起動。
5. 共同恢復 (Build-Together) : 加拿大魁北克電網是由北部的二條長距離 735KV 輸電走廊供電，其策略是用負載中心旁小電站的全黑起動機組向輸電走廊充電。
6. 重要電源先恢復 (Serve-Critical) : 法蘭西電力系統預先定義好子系統，因為數眾多的核電廠是重要的電源，需盡快恢復，所以每個子系統中全黑起動電源均透過輸電走廊供給核電站廠用電。

6.7.4 復電策略的分析

由於台電系統為一孤島系統，且為一狹長型網路系統，並無任何聯絡線與其他電力網路相連接；為符合系統特性及眾多限制條件，因此在復電策略的選擇上僅針對“向上恢復”及“向上恢復”兩策略進行分析比較，以下是這兩個策略的分析概述：

1. 向上恢復策略

若在大電力系統恢復中採用向上恢復策略，必須先將大系統劃分成幾個小系統，並行恢復各個小系統，最終這些恢復起來的小系統合聯形成大系統。但實際的小系統劃分，必須建立在對故障後系統狀態詳盡了解的基礎之上。即只有在確定帶電區域的邊界，了解這些區域內的頻率和電壓訊息、發電機狀態、設備過載和損壞情況及受影響的負載之後，才能作出比較符合實際情況的小系統劃分方案。圖 6.6 為向上恢復策略之示意圖。

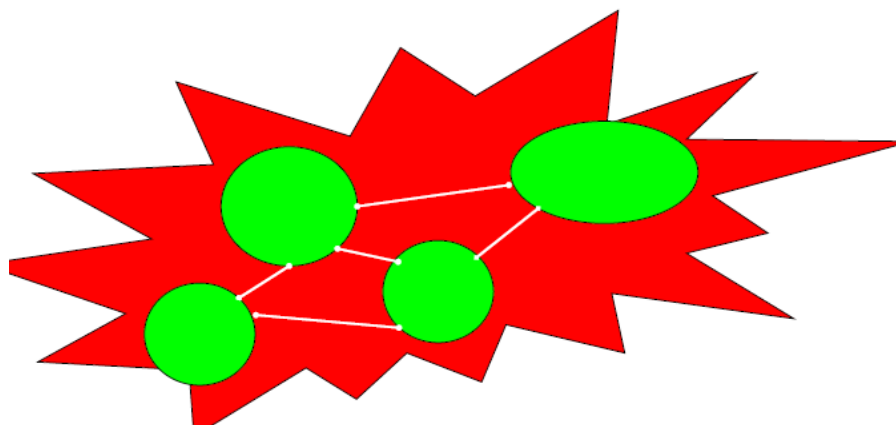


圖 6.6 向上恢復策略示意圖

一般來說，合理劃分小系統的原則有：

- (1)根據具有全黑起動能力機組的分佈，劃分全黑起動小系統。
- (2)每個小系統必須具有足夠的自行起動能力，用於恢復重要負載和起動其它機組。
- (3)小系統應保持有效功率平衡，維持穩定的頻率範圍。
- (4)小系統為確保電壓穩定，應具有電壓控制措施，包括承載負載能力、欠勵磁發電機機組、可調節變壓器分接頭、並聯電抗器、同步調相機等。
- (5)小系統不宜過大，以方便運轉人員對復電過程進行調度統籌，保證各子系統內部的安全和協調。

“向上恢復”策略又稱“小系統復電”(Multiple Islands)策略，執行步驟如下：

- (1)選擇全黑起動機組.(Select units to black-start)
- (2)起動並穩定全黑起動機組 (Start and stabilize black-start units)
- (3)決定復電路徑 (Determine restoration transmission path)
- (4)恢復傳輸線及負載以擴展孤島系統 (Begin expanding islands by restoring transmission and load.)
- (5)在適當的時機將孤島系統合聯(Synchronize islands when appropriate)

“向上恢復”策略的優點為：

- (1) 許多小區域可同時復電(Multiple areas being restored in parallel)
- (2) 特殊發電機可快速起動 (Faster restart of specific generator)
- (3) 若其中一個孤島系統崩潰，不會影響到整個系統(If one island goes down, does not take down entire system)
- (4) 允許緊急重要區域優先取載(Allows for load pickup in critical geographic areas)

“向上恢復”策略的缺點為：

- (1) 較小的孤島系統穩定度較差 (Less stability due to smaller size of islands)
- (2) 較難控制及合聯小系統 (More difficult to control and interconnect multiple islands)
- (3) 較小的慣性使得頻率變化較劇烈 (Frequency will have greater variation due to less inertia)
- (4) 電廠操作人員必須獨立控制該孤島系統之頻率 (Generation operators must control frequency within their island)
- (5) 復電時間較長 (Slower overall restoration time)
- (6) 會降低可用的故障電流 (Reduced available fault current-possible clearing problems)

2. 向下恢復策略

若在大電力系統恢復中採用向下恢復策略，則必須先建立輸電主要幹線的電壓，再利用此輸電主幹線向下延伸選定之區域加壓送電，以此輸電主幹為中心逐步將系統擴大建立起來，最終這些恢復起來的系統便可形成大系統，復電期間並無小系統的合聯問題。圖 6.7 為向上恢復策略之示意圖。

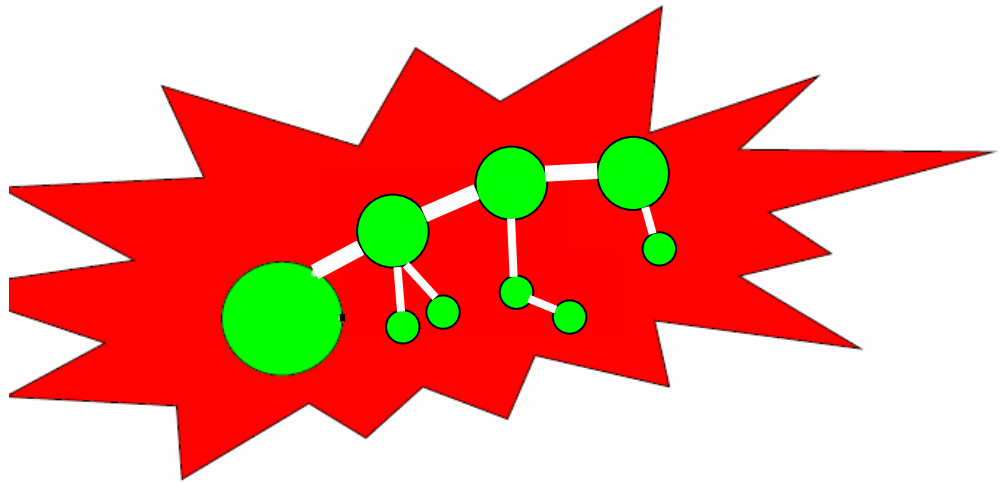


圖 6.7 為向下恢復策略示意圖

“向下恢復”策略又稱“脊柱式復電”(Backbone Island)策略，執行步驟如下：

- (1) 恢復主幹線輸電系統 Restore backbone transmission system, (usually from outside assistance)
- (2) 由主幹線供給重要發電廠和變電所負載 (Restore critical generating station and substation load from transmission system)
- (3) 起動更多發電機 (Bring on more generation)

(4)恢復輸電系統下的區域負載 (Restore underlying transmission system)

(5)繼續恢復所有負載 (Continue restoring load)

“向下恢復”策略的優點為：

(1)可快速恢復輔助電力供給緊要的電廠和變電所 (Restores critical auxiliary power to generating stations and light and power to substations very quickly)

(2)中央集權調度 (Focused control and switching)

(3)不需同步合聯. (No synchronization required due to one island)

(4)可同時對數個區域進行復電(Can restore several areas of the system at the same time)

(5)可快速恢復傳輸系統的主幹線(Restores a backbone of the transmission system quickly -Potentially allowing for outside assistance quicker)

“向下恢復”策略的缺點為：

(1)將會經歷因線路充電電流產生的高電壓問題，電壓控制困難 (May experience high voltage due to excess line charging-Voltage control is difficult)

(2)孤島系統會因有限的發電機，和相較於長輸電線路而言，因較少的系統網路而不穩定(Island may be unstable due to limited on-line generation and relatively longer transmission with less

networking)

(3) 將會經歷傳輸線輸電限制 (May experience transmission constraints)

(4) 復電初期會導致重要負載延遲復電 (May initially delay restoration of critical customer load)

表 6.2 向上恢復及向下恢復策略優劣比較表

	向上恢復(小系統恢復) 策略	向下恢復 (脊柱式恢復) 策略
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 許多小區域系統可同時復電 2. 許多特定發電機可快速供電 3. 各區域的關鍵用戶可直接取載 4. 如果其中一個小系統崩潰，不會影響整個系統 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重要變電所及電廠電源的供電較快速 2. 系統許多區域可同時復電 3. 沒有同步合聯的問題 4. 由中央集中控制電網開關的調度 5. (若與其他電網系統連接後，系統會較穩定)
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 眾小系統的合聯 (同步) 較困難 2. 獨立小系統運轉較不穩定 3. 發電廠必須獨立控制小系統頻率 4. 系統全面復電時間較長 5. 故障電流不足以使保護電驛動作 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 充電電流導致電壓控制困難 2. 會面臨主幹輸電線路過載的問題 3. 相對於發電機數量的長輸電線和極小的電網，會導致系統不穩定 4. (須靠其他輸電網路聯絡線供電)

柒、參考文獻

- [1] 劉寶華等，美國電力市場，中國電力出版社，2005
- [2] NERC 網站，<http://www.nerc.com/>
- [3] ERCOT 網站，<http://www.ercot.com/>
- [4] ISO-NE 網站，<http://www.iso-ne.com/>
- [5] Gianfranco Chicco, and George Gross,” Competitive Acquisition of Prioritizable Capacity-Based Ancillary Services,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No. 1, pp. 569-576 (2004).
- [6] Shmuel S. Oren,”Design of Ancillary Service Markets,” Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences (2001)
- [7] Maree A. Bolton Zammit, David J. Hill, and John Kaye,” Designing Ancillary Services Markets for Power System Security,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 2, pp. 675-680 (2000)
- [8] Harry Singh, and Alex Papalexopoulos,”Competitive Procurement of Ancillary Services by an Independent System Operator,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 2, pp. 498-504 (1999)
- [9] ERCOT, ” ERCOT Nodal Operating Guides, Section 6, Ancillary Services”, August 1, 2008
- [10] ERCOT,”ERCOT Wholesale Market Operations,” Wholesale Basics Class Handouts, June 2006
- [11] ERCOT, “ERCOT Protocols, Section 22, Attachment A, Standard Form Black Start Agreement”, May 1, 2005
- [12] ERCOT, “Nodal Protocol Revision Request, Black Start Testing Requirements”, August 23, 2006

- [13] ERCOT, “ERCOT Nodal Operating Guides, Section 4, Emergency Operation”, July 17, 2008
- [14] ERCOT, “ERCOT Nodal Operating Guides, Section 8, Attachment A, Detailed Black Start Information”, November 1, 2007
- [15] ERCOT, “Operating Guides Revision Request, Black Start Back Up Communication Facility Criteria”, September 23, 2003
- [16] ERCOT, “Timing for Required Black Start Unit Load Carrying Test”, November 20, 2008
- [17] ERCOT, “Notifications, Transmission Security, EECF and Black Start”, October 1, 2008
- [18] ERCOT, “ERCOT Nodal Operating Guides, Section 2, System Operations and Control Requirements”, September 1, 2008
- [19] PJM, “Black Start Replacement Process”, January 9, 2008
- [20] M.M.Adibi, “L.H.Fink, Power System Restoration Planning”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9, No.1, February 1994