

# 美國能源部電網儲能報告

撰稿人：財團法人台灣綜合研究院

## 目錄

【摘要】 .....	1
壹、概述.....	3
貳、美國與外國儲能進展 .....	6
參、電網規模儲能應用 .....	11
肆、主要障礙.....	14
伍、儲能策略目標.....	15
陸、目標執行.....	18
柒、技術發展特定行動 .....	21
捌、目標與特定行動分析 .....	22
玖、儲能技術標準化 .....	23
參考資料.....	23

# 美國能源部電網儲能報告

## 【摘要】

現代化的電力系統，可協助國家於處理能源預期需求時因應挑戰，包括整合更多的再生能源和提高非再生能源製程效率，以解決氣候變化問題。提及電網，必須保持一個強大而有韌性的電力輸送系統。而能量儲存，可用來改善電網的運行能力、降低成本，並確保高度可靠性，以及延遲並降低基礎設施的投資，而在因應這些挑戰中發揮顯著作用。最後，因為儲能有提供備用電源和電網穩定服務的能力，有助於緊急應變。

儲能技術如抽水蓄能、壓縮空氣儲能、各類電池、飛輪、電化學電容器等，提供多種應用，包含能源管理、備用電源、負載均衡、頻率調節、電壓維持以及電網穩定。重要的是，不是所有類型的儲能皆可適合每一個類型的應用，因而需要為儲能技術促成一個組合策略。

廣泛部署儲能系統涉及到四大挑戰：有成本競爭力的儲能技術(包括製造和電網整合)、經過確證的可靠性和安全性、公平的監管環境及產業可接受度。

該報告所探討的問題，著重於藉由有針對性的科學應用和工程研究，和新儲能概念、材料、組件和系統(包括製造和標準化)的開發，以降低系統成本。開發人員應該考慮技術風險的降低，在部署的早期階段來控制不確定性，讓成本估算和營運作業，可以根據紮實的基礎與瞭解透徹的數據來發展。正在進行的研究和開發，從儲能機制的基礎科學，到平台技術的早期開發，也應該是支持這些挑戰的考量。電網儲存的工業標準正處於起步階段。

該報告第 1 節為概述。第 2 節描述儲能在美國的現狀，以及國際現有的專案，可作為對美國投資和成長的短期樣板。第 3 節描述儲能

的技術現狀，包括每種技術類型的應用程序和機會。第 4 節討論廣泛採用電網儲能技術的障礙和挑戰，以及其他需要解決的問題。第 5 節與第 6 節的重點，是如何在未來 3 到 5 年促進和推動儲能，從促進基礎研究，到促進和分析當前和未來的電網儲能市場。第 7 節討論與技術相關的發展目標，同時第 8 節討論與分析相關的目標。最後第 9 節說明標準化和美國能源部正在進行的活動。附錄中詳細介紹在美國能源部有關辦事處和幾個聯邦機構的儲能研發計畫，並提供 2009 年美國復甦與再投資法案(ARRA)資助的儲能專案清單。

**關鍵字：電網(Grid)；儲能(Energy Storage)；公用事業(Utilities)**

## 壹、概述

據估計至 2050 年，美國每年將需要約 4 至 5 兆千瓦小時的電力。這些規劃和進行電網擴建，以滿足這種增加的電力負荷，在平衡經濟和商業可行性、靈活性、網絡安全，以及對碳排放和環境可持續性的影響，面臨不斷增長的挑戰。儲能系統(Energy Storage System, ESS)將藉由改善電網的運行能力及緩解基礎設施投資壓力，在因應這些挑戰時發揮顯著作用。儲能系統可以解決電力時序、傳輸和調度的問題，同時也規範傳統與可變電源的質量和可靠性。儲能系統也有助於緊急應變。現代化電網將需要大量的儲能部署。在過去的幾年中，迫切的儲能需求已成為更大、更迫切的問題，可望在未來十年繼續增長：

➤美國加州2010年10月頒布的一項法律(AB 2514)，如果在2013年10月顯示成本效益和商業上可行，要求加州公共事業委員會(CPUC)為加州負載服務實體建立適用於2015年和2020年的儲能採購目標。2013年2月，加州公共事業委員會決定，南加州愛迪生公司必須至2021年在洛杉磯地區採購50百萬瓦的儲能容量。此外，2013年6月，加州公共事業委員會建議的儲能採購目標和機制，共計1,325百萬瓦的儲能空間。其他州正在觀察加州的例子，而美國國會已經推出兩款法案，為儲能的部署建立獎勵機制。

➤於電網提高再生能源滲透率，以滿足再生能源組合標準(Renewable Portfolio Standard, RPS)，可能關聯到更多的儲能部署。儲能可以「調順」來自風能和太陽能技術發電的跳動式輸電，實際上可增加再生能源的價值。此外，當儲能用於分散式發電，是可以藉由提供功率調節值提高這些資產的可靠性，並

- 讓增加的再生能源滲透率，來協助各州達成再生能源組合標準。
- 儲能在增強電源管理和頻率調節技術已接近商業上的可行性。  
大飛輪裝置和電源監控軟體結合，使飛輪的安裝非常有用，以確保間歇性的電源和可變負載需求維持60 Hz的頻率。儲電可以是另一種方法，提供旋轉備用或縮減，可藉以提高基礎設施的效率，減少浪費的產能過剩所造成的溫室氣體排放，並降低過度循環注氣裝置的相關熱耗率。
  - 儲能可以減少主要新輸電網建設升級的需要，以及擴大現有輸配電資產的表現。美國能源部估計，70%傳輸線路服役至少25年，70%電力變壓器服役至少25年，60%斷路器服役超過30年。輸電網能力擴展，例如藉由在傳輸約束點的負載側預先定位儲能，使電網更加安全、可靠及反應迅速。此外，分散式儲能可以藉由在離峰時間儲存電流並轉供在高峰時段減少整體發電需要，降低線路擁塞和線損。藉由降低輸配電線路的尖峰負載(和超載)，儲能可以延展現有基礎設施的使用壽命。
  - 此外，當國家運輸部門轉向電氣化，車輛的儲能，以及車輛和電網之間能量的整合，將是至關重要的。儲能的重點，不僅是電池在車輛搭載，同時也為電動汽車(Electric Vehicle, EV)電池潛在的第二次應用生命。例如，插電(Plug-IN)專案，由總部設在美國印第安納波利斯的大型公共/私人電動汽車倡議；包括杜克能源公司，正在探索在家庭、社區和商業建築，固定應用的最佳客戶使用模式。該示範專案被用來協助確證儲能技術未來商業化的模式。
  - 儲能在緊急應變也將參與重要角色，並提高整體電網韌性。在2013年8月與電力傳輸和能源可靠性辦公室共同編撰的白宮報

告，詳細介紹儲能將在提高電網調適能力和穩固性、降低因天氣停電和其他可能的干擾，有不可或缺的作用。

➤儲能有望大幅增長，需要在製造能力和就業機會大量投資。根據資訊處理服務，劍橋能源研究協會(IHS CERA)的報告，儲能業務可能會從2012年2億美元，到2017年增長為190億美元的產業。

美國能源部在解決電網儲能廣泛部署時所遇到的阻礙，雖然是重大挑戰但卻發揮至關重要的作用。與產業、州級和市級政府、學術界和其他聯邦機構聯手，美國能源部支持新技術的發現，以改善電網儲能成本和性能，促進技術創新並納入改善儲能產品，消除不必要的部署障礙，和推動建立全產業的標準，以推廣儲能空間的易於採用。這些活動可有助於促進國家能源系統及時、實質、高效的轉化，和保護美國在清潔能源技術的領先。美國能源部 2011 年的策略規劃，已經確認許多有針對性的成果以支持這一目標。與這個使命最相關的，包括到 2015 年降低儲能成本的 30%，並於轉移負載形式時，支持插電式混合動力車和電池電動車的整合。

儲能技術可以有助於促進整個系統的可靠性，當大量的風能、太陽能和其他再生能源不斷被加入到國家的發電設施，減少溫室氣體排放和提高能源安全成為進一步的目標。此外，儲能技術將成為有效工具，藉由調節變化的發電量、改善微電網和智能電網功能，來管理電網的可靠性和靈活性。對於微型和智能電網技術，儲能可以在輸電能力有限、輸電中斷、不穩定需求和供給型態的地方，提供備載選項，。

該部的儲電計畫也可以創造經濟機會。強大的儲能市場、先進的電能儲存裝置需求，將在美國促進一個強大的製造基地，而這種

能力可以在需求強勁的國外儲能市場，被利用為出口機會。此外，藉由在美國促進再生能源更高效的採用，儲能可以幫助促進美國的能源獨立性和減少碳排放。

## 貳、美國與外國儲能進展

### 一、美國儲能發展

由美國能源部創建和維護一個互動式資料庫，提供全球儲能系統部署的程度和範圍的最新資訊。截至 2013 年 8 月，數據資料報導指出，在美國有 202 個儲能系統的部署，累計營運能力為 24.6 GW(約占總發電量的 2.3%)；且儲能技術包括抽水蓄能、不同類型的電池、飛輪的組合。每種技術於整體運作能力的貢獻，如圖 1 所示。抽水蓄能以占比 95% 明顯主導，由於其較大的單元尺寸和更長的歷史，成為電業部門儲能的首選技術。其它技術，如壓縮空氣儲能(Compressor Air Energy Storage, CAES)、熱能儲能、電池，和飛輪，構成整體儲能容量中的其餘 5%。

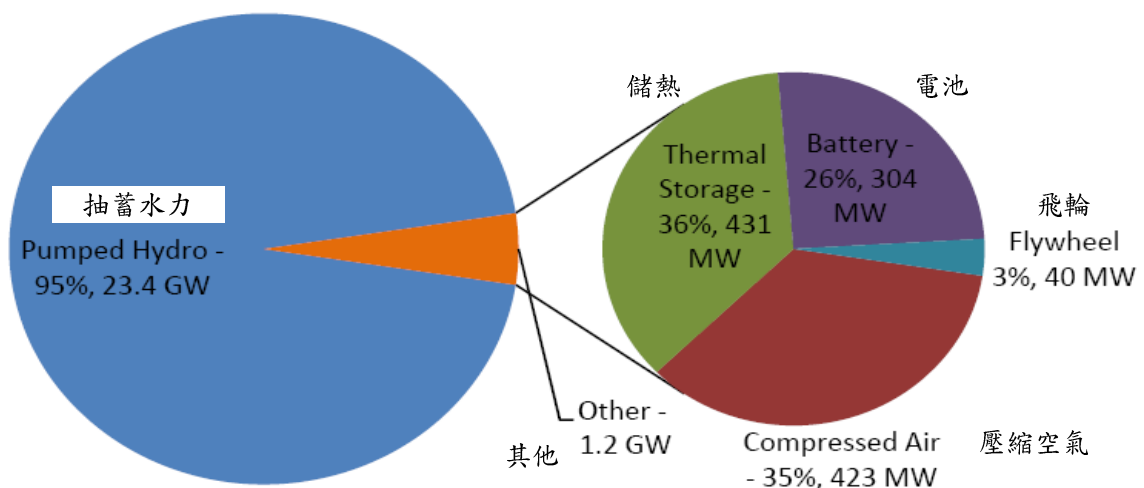


圖 1.美國電網儲能專案的功率配比(含已公告的專案)

同樣地，圖 2 顯示出已部署系統尺寸寬廣的範圍。各個專案的

額定功率從小型住宅規模範圍(7 個專案被列為 10 千瓦以下，這是該報告的妥協值，因為有可能很多小系統不存在資料庫中)到大型公用事業規模系統的 1 百萬瓦以上。另外，在美國電信塔作為備用電源相關的氫燃料電池，正被使用的超過 800 單位，這是「2009 年美國復甦暨再投資法案」(ARRA)資助的成果。

## 圖 2.美國裝置的數量，依容量分組

### 二、其他國家儲能發展

歐洲和日本電網儲能的占比顯然更高。如同美國，為追求清潔能源的未來，使歐洲和亞洲顯著增加推動儲能的開發力度。

在國際上，日本一直致力儲能的開發和部署，以平衡其核電廠的負載變化。在完成抽水蓄能電廠建設的初始階段後，日本致力於其他儲能技術的發展。其最突出的成就，是高溫鈉硫電池的商業發展，藉由跨越 20 年持續的研發計畫。如今，日本的日本礙子株式會社(NGK)是鈉硫(NaS)電池的唯一來源；而至 2012 年，日本 NGK 銷售超過 450 百萬瓦的鈉硫儲能系統，多數國際客戶以搭配再生能源發電廠的儲電使用。

中國和印度也追求儲能方案，以支持該國電力能源需求的快速增長。儲能在中國和印度可以滿足許多電網的需求，在系統因客戶



端分散式資源需求的高峰期間來彌補現有發電和用戶負荷之間的差距。例如，印度正在積極尋求儲能，以期為超過 30 萬個電信塔確保一個安全的電源，並在 2013 年 7 月宣布 4,000 萬美元鋰離子電池儲能系統的合約，以滿足這一需求。這個例子證明，在美國，電信塔有潛力為儲能技術開發和製造的「第一市場」。表 1 介紹國際電網儲能領域一些國家特定的重點。

**表 1、電網儲能的國際現況**

國家	儲能目標	專案	其他議題	技術與應用
義大利	75 MW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 51 百萬瓦儲能在 2015 年啟用</li> <li>➢ 另外資助 24 百萬瓦儲能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 義大利電網擁有相當幅度的再生能源發電容量，電網目前有嚴重的可靠性問題；額外的再生能源發電容量只會加劇這個問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 35 百萬瓦是鈉硫電池，為長時間放電</li> <li>➢ 其他容量的重點是解決可靠性問題及頻率調節</li> </ul>
日本	30 MW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 批准的 30 百萬瓦鋰離子電池裝置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 核電廠集團有可能除役</li> <li>➢ 間歇性電源大量安裝 - 估計 2013 年安裝 9.4 十億瓦的太陽能光伏發電設施</li> <li>➢ 幾個孤立電網在需求高峰期顯示傳輸基礎設施不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 主要是鋰離子電池</li> <li>➢ 最近監管批准的儲能設備，從 31 項增加到 55 項</li> </ul>
南韓	154 MW	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 54 MW 鋰離子電池裝置</li> <li>➢ 100 MW 壓縮空氣蓄能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 核電廠集團出現重大法規/功能問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 可靠性和不斷電系統</li> </ul>
德國	2.6 億美元供電網儲能	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 1.72 億美元已撥給宣佈的專案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 整個核電廠集團的除役；大規模((和擴展中)間歇性再生能源發電容量</li> <li>➢ 超過 160 個儲能示範項目</li> <li>➢ 等待對儲能授權的訊息</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 氫；壓縮空氣蓄能和地質；頻率調整</li> </ul>
加拿大	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 已宣布第一個頻率調節廠</li> </ul>	-	-
英國	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 6 MW 多用途電池</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 其他小型的研發和示範專案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 電池將同時進行負載均衡和頻率調節的應用</li> </ul>

### 三、技術概述

儲能系統可以設計成廣泛產品組合的技術，如抽水蓄能、壓縮空氣儲能、許多種類的電池、飛輪和超導磁儲能(Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES)。每一種技術都有其自身的性能特點，使其最適合某些電網服務，而較不適用於其他電網應用。一個儲能系統可以匹配性能不同電網要求，這種能力也允許同一個儲能系統可以提供多種服務。這使儲能系統有更大程度的操作靈活性，使其功能不能被其他電網資源，如燃氣渦輪機或柴油發電機所取代。一個單一儲能系統可以滿足多種需求的能力，如果可能的話，也使其有能力獲得一個以上的價值鏈，以證明其值得投資。而「已部署」，「已證明」，和「早期階段」的分類，經常被模糊，並會隨時間變化。圖 3 根據其目前技術的成熟度進行分組。

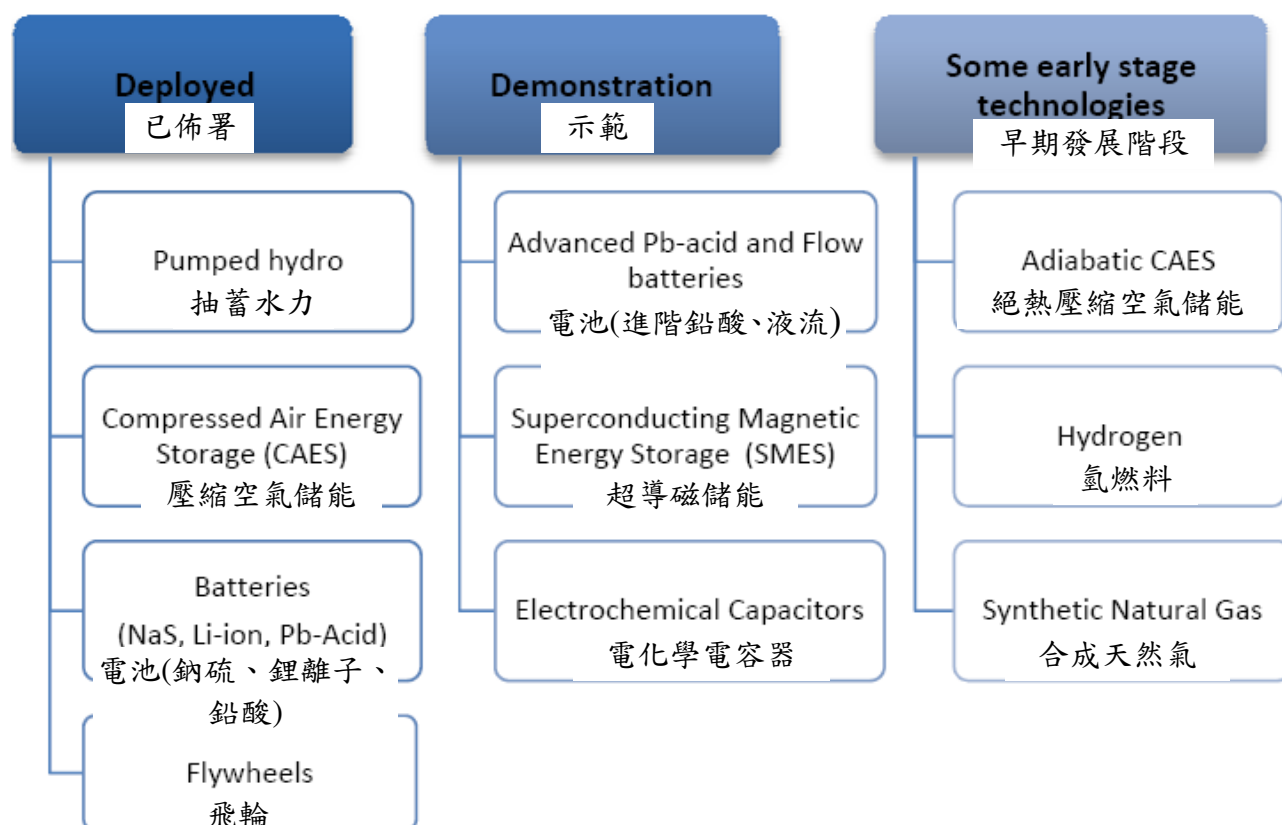


圖 3、電力存儲技術的成熟度

表 2 總結大部分儲能技術的發展狀態如下。

表 2、進階儲能技術型態來源

技術	主要應用	目前所知狀態	挑戰
壓縮空氣蓄能	<ul style="list-style-type: none"> <li>•能源管理</li> <li>•備載和季節性儲備</li> <li>•整合再生能源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•比燃氣渦輪機電廠更好的升降載率</li> <li>•自 1970 年代即運作的已建立技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•地理限制</li> <li>•來回轉換效率較低</li> <li>•反應時間比飛輪或電池較慢</li> <li>•環境影響</li> </ul>
抽水蓄能	<ul style="list-style-type: none"> <li>•能源管理</li> <li>•備載和季節性儲備</li> <li>•也可藉由變速抽水蓄提供調節服務</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•已發展且成熟的儲能技術</li> <li>•非常高的升降載率</li> <li>•目前最經濟有效的儲能形式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•地理限制</li> <li>•電廠同址</li> <li>•環境影響</li> <li>•整體專案成本高</li> </ul>
飛輪	<ul style="list-style-type: none"> <li>•負載均衡</li> <li>•頻率調節</li> <li>•尖載抑制和離峰儲能</li> <li>•暫態穩定性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•模組化技術</li> <li>•對公用事業規模具備經過驗證的增長潛力</li> <li>•循環壽命長</li> <li>•高峰供電時沒有過熱的問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•轉子抗拉強度有極限</li> <li>•由於高摩擦損失，儲能時間有限</li> </ul>

技術	主要應用	目前所知狀態	挑戰
		<ul style="list-style-type: none"> <li>•快速反應</li> <li>•往返能源效率高</li> </ul>	
進階鉛酸	<ul style="list-style-type: none"> <li>•負載均衡和調節</li> <li>•電網穩定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•成熟的電池技術</li> <li>•低成本</li> <li>•高度可回收材料</li> <li>•良好的電池壽命</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•放電深度有限</li> <li>•低能量密度</li> <li>•大足跡</li> <li>•電極腐蝕限制使用壽命</li> </ul>
鈉硫	<ul style="list-style-type: none"> <li>•電力品質</li> <li>•紓緩輸電擁塞</li> <li>•整合再生能源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•高能量密度</li> <li>•長放電循環</li> <li>•快速反應</li> <li>•長使用壽命</li> <li>•良好的擴充縮小潛力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•所需工作溫度在 250 和 300°C 之間</li> <li>•液體密封問題(耐腐蝕性和脆玻璃密封)</li> </ul>
鋰離子	<ul style="list-style-type: none"> <li>•電力品質</li> <li>•頻率調節</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•高能量密度</li> <li>•良好的循環壽命</li> <li>•高充電/放電效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•高生產成本 - 可擴展性問題</li> <li>•對溫度過高、充電過度，和內部壓力累積極其敏感</li> <li>•不能容忍深度放電</li> </ul>
液流電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>•升降載</li> <li>•尖載抑制</li> <li>•尖峰時間移轉</li> <li>•頻率調節</li> <li>•電力品質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•能夠進行多次放電循環</li> <li>•較低的充電/放電效率</li> <li>•壽命非常長</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•發展中技術，商業規模開發尚未成熟</li> <li>•複雜的設計</li> <li>•較低的能量密度</li> </ul>
超導磁儲能	<ul style="list-style-type: none"> <li>•電力品質</li> <li>•頻率調節</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•從放電的往返效率最高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•低能量密度</li> <li>•材料和製造成本難被接受</li> </ul>
電化學電容器	<ul style="list-style-type: none"> <li>•電力品質</li> <li>•頻率調節</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•壽命非常長</li> <li>•高度可逆和快速的放電</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•目前成本難被接受</li> </ul>
熱化學能量儲存	<ul style="list-style-type: none"> <li>•負載均衡和調節</li> <li>•電網穩定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•極高的能量密度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•目前成本難被接受</li> </ul>

## 參、電網規模儲能應用

直到 1980 年代中期，儲能被電力公司認為是尖峰時間移轉一種手段，將燃煤和核電機組在非尖峰時段發電量儲存，以取代可能會在尖峰期間，從其他更昂貴的燃料所需要的發電量。有幾個因素，包括建設大型抽水蓄能電廠的環境問題，和使用電池和飛輪等儲能技術的出現，為使用儲能以提供其他電網服務引入可行性。

2013 年版的美國能源部/美國電力研究院(DOE/EPRI)電力儲存手冊，介紹 18 種服務和應用，分在五個組，如表 3 所示。該表中鑑別的服務和應用顯示，儲能可以用來支援發電、輸電、配電，以及客戶端即用的電網需求。本節介紹一些最具有商業可行性的功能，和相關電網的短期前景。

**表 3、電網儲能服務**

大宗能源服務	輸電基礎設施服務
➤電能尖峰時間移轉(套利)	➤輸電系統更新延緩
➤電力供應容量	➤輸電擁塞緩解
配套服務	配電基礎設施服務
➤調節 ➤旋轉、非旋轉、補充備轉容量 ➤電壓維持 ➤全黑啟動 ➤其他相關利用	➤配電系統更新延緩
	➤電壓維持
	消費者能源管理服務
	➤電力品質 ➤電力可靠度 ➤零售電能尖峰時間移轉 ➤需求收費管理

表 4 總結許多這些藉由儲能技術的主要應用方式。

**表 4、技術型態的應用**

應用	說明	壓縮空氣 蓄能	抽水蓄電	飛輪	鉛酸	鈉硫	鋰離子	液流電池
離峰－尖峰時對間歇性電源的轉移和固守	在電網離峰時將再生和/或間歇性能源於現場充電，在尖峰時段輸出電能進入電網。	△	△	×	○	○	○	○
在尖峰時對間歇能量的平緩和調整	充電/放電為時數秒至數分鐘以平緩間歇發電，和/或充電/放電為時幾分鐘到幾小時來調整能量型態。	×	△	△	○	○	○	○
提供配套服務	於市場前一天提供配套服務能力，且即時回應獨立電力調度中心的訊號。	△	△	△	△	△	△	△
提供全黑	單元設置時完全充電，當需要	△	△	×	○	○	○	○

應用	說明	壓縮空氣 蓄能	抽蓄水電	飛輪	鉛酸	鈉硫	鋰離子	液流電池
啟動	全黑啟動容量時放電。							
輸電基礎設施	使用儲能裝置以延緩輸電升級計畫。	×	×	×	○	○	○	○○
配電基礎設施	使用儲能裝置以延緩配電升級計畫。	×	×	×	○	○	○	○
移動式配電設施故障緩解	於短期配電過載情況下的斷電時，使用可移動儲能單元提供補充電源給最終用戶。	×	×	×	△	○	○	○
尖峰負載向配電系統的下游移轉	離峰時段配電系統下游(次級變壓器以下)的充電裝置；每天2-4 小時尖峰時段進行放電。	×	×	×	○	○	○	○
間歇性分散式發電整合	充電/放電裝置用來平衡當地的能源供需。在分散式發電和配電與電網之間設置，可延緩先前預期必要的配電基礎設施升級。	×	×	×	○	△	△	△
終端用戶時間電價的最佳化	充電設備用於分時零售價格低時，價格高時放電。	△	△	×	△	△	△	△
不間斷電源	最終用戶部署的儲能，以改善電力品質，和/或斷電時提供後備電源。	×	×	△	○	○	○	○○
微電網的形成	儲能部署配合當地發電，得以從電網分離出來，建立一個獨立微電網。	×	×	×	○	○	○	○

○代表適合的應用；△代表可能的應用；×代表不適合的應用

## 肆、主要障礙

有四個障礙應予以探討，以促進儲能系統廣泛部署：

### 一、儲能系統的成本競爭力

儲能系統的總成本，包括所有的子系統組件、安裝和整合成本，必須比提供給電力公司其他非儲能選項的成本更有競爭力。雖然減少成本的重點大都強調是“儲能”的組件，例如電池或飛輪，然而該儲能元件成本仍然只占總系統的 30%~40%，因此，重點必須要對整個制度。此外，還必須同時量化儲能在電網所提供各種服務的「價值」，包括單一和多重，或「組合」的服務，即單一的儲能系統有能力追求多個收入來源，以達到經濟上的可行性。這對儲能系統成本降低到有經濟吸引力的水準是非常重要的。

### 二、性能和安全性的確證

現有儲能系統性能評估和報告的過程，必須建立統一的基礎。這須結合產業公認的規範和標準，以指定每個儲能服務所需的性能參數，才能導致儲能系統更廣泛的接受度。例如，在電池的使用壽命，和儲能裝置能帶來收入的時間長度，有顯著的不確定性；這兩個問題直接影響投資估算。根據利益相關者的意見，對一個電池實際壽命更全面瞭解的障礙，可藉由示範和加速試驗來幫助消除，因為藉由改進測試方法來預測可靠性，在支持商業化是很重要的。大型儲能系統的運行安全性是一個問題，會在城市地區或其他電網資源，如變電站附近，成為部署的一個障礙。納入設計作業的安全標準和安全檢測程序，需要對不同的儲能技術予以發展和編撰。

### 三、公平的監管環境

目前提供的電網儲能沒有一致定價或市場計畫，且環繞使用端的經濟不確定性抑制投資。如果儲能運營商沒有建立的營收創立模

式，投資的情況將保持沉寂。雖然在諸如頻率調節領域已經有示範活動，但在其他應用程序，仍有收入不確定性足以阻礙投資。

#### 四、產業接受度

顯著的不確定性也存在於儲能技術將如何實際應用，以及新的儲能技術，將如何隨著時間的推移置入應用程序中。目前，系統運營商在利用部署的儲能資源經驗有限；利益相關者的意見顯示，有效和有益地採用儲能技術算法的開發，可以鼓勵投資。同樣的，今天的公用事業規劃、輸電和配電的設計工具，並不具備在一致的基礎上分析儲能作為選項的能力。將儲能納入目前行業使用的規劃工具整合(而不是開發獨立工具)，可以推廣儲能技術。

#### 伍、儲能策略目標

電力系統可以藉由儲能的廣泛部署來加速擴展，因為儲能可以是電網穩定性和韌性的一個關鍵組成部分。未來在美國的儲能應解決以下問題：儲能技術的成本，應具有與其他提供類似服務技術的競爭力(無補貼)；儲能於同時提供多種好處的價值被應被認知，且最後，儲能技術應該與現有系統和子系統無縫接軌，使其達成無處不在的部署。

在審查儲能的障礙、挑戰，以及未來，解決這些問題的策略，應包括三個主要成果導向的目標：

- 1.儲能應成為加強再生能源滲透的廣泛部署資產 - 特別使儲能部署在高層次新的再生能源發電
- 2.儲能應成為產業和監管機構一種有效的選項，來解決電網韌性和可靠性問題
- 3.儲能在實現智能電網利益，應該是一個廣為接受的貢獻者 - 特別



是強化電氣化交通部署的信心，與需求方資產使用的最佳化。

美國能源部已經與業界舉辦多次工作坊，並已為電網短期和長期的儲能技術發展，制定下列成本和性能目標：

**表 5、美國能源部儲能技術發展目標**

近期	長期
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 示範交流電儲能系統涉及氧化還原液流電池、鈉基電池、鉛-碳電池、鋰離子電池等技術，以滿足下列電網性能和成本目標：</li><li>- 系統建設成本：低於 250 美元/千瓦小時</li><li>- 平準化成本：低於 0.20 美元/千瓦小時/循環</li><li>- 系統效率：75%以上</li><li>- 循環壽命：超過 4,000 個循環</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 研究和開發基於先進的材料和化學品的新技術，以滿足以下交流電儲能系統的目標：</li><li>- 系統建設成本：低於 150 美元/千瓦小時</li><li>- 平準化成本：低於 0.10 美元/千瓦小時/循環(即，沒有補貼，也可經濟擴展)</li><li>- 系統效率：超過 80%</li><li>- 循環壽命：超過 5,000 個循環</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 開發和最佳化電源技術，以滿足交流電儲能系統的建設成本低於 1,750 美元/千瓦的目標。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 開發和最佳化電源技術，以滿足交流電儲能系統的建設成本低於 1,250 美元/千瓦的目標。</li><li>➤ 對於聚光型太陽能發電(Concentrating Solar Power, CSP)儲能系統：</li><li>- 系統建設成本：低於 15 美元/千瓦小時</li><li>- 系統效率：95%</li><li>- 循環壽命：10,000 個循環</li></ul>

為實現這些成果，主要挑戰集中在：

- 儲能技術的成本競爭力 - 這一目標的實現需要注意的因素，包括被部署儲能技術的生命週期成本和性能(輸入/出循環效率、能量密度、週期壽命、容量衰減等)。預期早期部署將在高價值的應用，但長期的成功，需要成本降低與充分容量，以獲取儲能提供給所有電網的服務收益。
- 確證的可靠性和安全性 - 儲能的安全性、可靠性和性能的確證，對於用戶信任是至關重要的。
- 公平的監管環境 - 電網儲能的價值主張，在於減少體制和監管方面的障礙，以與其他電網資源的水平相當。

- 產業接受度 - 產業的採納，需要業者對儲能將如期待部署有信心，並如預測和承諾供應。

美國能源部為實現這些目標的策略，如表 6 所列。

**表 6、美國能源部儲能策略摘要**

挑戰/目標	策略摘要
具成本競爭力的儲能技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 有針對性的基本材料、輸電程序與現象科學調查，使新的或增強的儲能技術發現，具有更高的性能</li> <li>➤ 材料和系統工程的研究，以解決已知和新興儲能技術(包括製造)的關鍵技術成本和性能方面的挑戰</li> <li>➤ 為新的儲能概念培育技術創新</li> <li>➤ 儲能技術成本模型的開發，來引導研發，並協助創新</li> <li>➤ 儲能電網效益的解析，來引導技術的發展，以及促進市場普及率</li> </ul>
確證的可靠性和安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 研發項目著重在退化和失效機制，及減緩的方式，與加速的壽命試驗</li> <li>➤ 開發標準測試協議，與依據接受的實用狀況，原型儲能設備的獨立測試</li> <li>➤ 對安裝儲能系統的性能進行追蹤、文件化，並提供參考</li> </ul>
公平的監管環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 協同儲能電網效益公共和私營部門的特性和評估</li> <li>➤ 為儲能所提供商業化的電網服務，探索技術中立的機制</li> <li>➤ 發展產業和監管機構認可的標準，以進行選址、電網整合、採購，與績效評估</li> </ul>
產業接受度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 協同、共同出資的現場試驗和示範計畫，可累積性能的經驗和評估 - 尤其是促進再生能源的整合和增強電網韌性</li> <li>➤ 業界公認的規畫和操作工具的調適，以適應儲能</li> <li>➤ 發展適用於多個電網服務的儲能系統設計工具</li> </ul>

## 陸、目標執行

美國能源部贊助研究、開發，並在多個辦事處進行示範，如表 7 所示。

**表 7、美國能源部辦公室在推廣電網儲能的角色**

辦公室	角色
OE：電力傳輸和能源可靠性	儲能技術的研究、開發、模擬、示範和控制技術，使其可以提高電網的靈活性和彈性，從發電機到消費者，從而允許技術更加多樣化的電網整合。這包括微電網與儲能，包括應急應變。
EERE：能源效率與再生能源	研究發展和現場儲能技術示範，使能源效率與再生能源技術(發電、效率，或運輸)滲透到當前系統(電網)。此外，去除抽水蓄能部署的選址和許可所面臨的挑戰，以及評估如何使變速抽水蓄能可提供配套服務，並為系統增加靈活性。
ARPA-E：進階研究計畫局-能源	高風險的研究發展，以證明與原型顛覆性的新儲能技術。
SC-BES：科學/基礎能源科學	基礎研究於(i)設計和開發新的材料與概念，並(ii)探討與電力儲能相關的物理和化學現象。
LPO：貸款辦公室	商業能源專案的債務融資，其中包括創新的儲能技術。

為解決推廣電網儲能面臨的 4 大挑戰，即具成本競爭力的儲能技術、確證的可靠性和安全性、公平的監管環境、產業/利害相關者接受度，所須執行的策略活動條列如表 8。

**表 8、支援儲能策略的特定活動**

目標	執行內容
具成本競爭力的儲能技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 進階的氧化還原液流電池化學和組件的開發，利用成本較低的薄膜、電極、雙極板；增加能量(電解液組成)和功率密度(跨膜離子流)；發展非水溶液氧化還原液流 - 小規模試驗 250 美元/千瓦系統的潛力。</li> <li>• 小規模示範效率 90%的低溫鈉(Na)電池 - 金屬鹵化物，和 Na 離子系統。</li> <li>• 適度規模示範第二部副車使用，且更安全、壽命更長的固定式鋰離子系統。</li> <li>• 小規模示範多芯串聯鎂離子電池的固定式應用。</li> <li>• 開發和測試高性能奈米材料為基礎的飛輪組件。</li> <li>• 進階的碳化矽、氮化鎵、氮化鋁為基礎的電源轉換器供儲能應用。</li> <li>• 開發和測試新的電容用料與結構。</li> <li>• 採用定向的先進研究於下列項目：</li> <li>• 飛輪：厚截面碳纖維複合結構的形成；磁懸浮系統實用技術的研究，新的奈米結構飛輪和永磁材料。</li> <li>• 壓縮空氣蓄能：科學概念驗證的等溫壓縮空氣蓄能研究。</li> <li>• 電化學：新穎的低成本、高循環壽命陽極、陰極、電解液和隔膜材料與結構研究。</li> <li>• 液流電池：高電流密度、低成本的電源模組，長循環壽命、低成本的電極、薄膜和催化劑；鹼性交換薄膜電極和多功能電力/能源電極；半固態可流動陽極/陰極電解液；奈米結構電極組件。</li> <li>• 超導體：低成本的高溫超導材料；高場線圈配置。</li> <li>• 電容器：高比表面積、奈米結構超級電容，成本低、安全、穩定的電解質/溶劑。</li> <li>• 電力電子技術：新型直交流轉換器/直流轉換器布局結構；整合被動元件；高電壓寬能帶隙半導體外延材料。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 電池：低成本/高能量密度的電池；可充電式金屬 - 空氣化學；原位感應器和控制技術；模型預測電池控制算法；可模組化的儲能結構；多功能儲能化學。</li> <li>• 效益/成本分析電網整合儲能的電網韌性、緊急應變、再生能源的部署，並提高資產利用率。</li> <li>• 建立儲能成本模型(包括製造)以指導研究發展和工業應用。</li> <li>• 開發設計工具以最佳化提供多重應用。</li> <li>• 進階研究影響的基線技術經濟模型；為新興技術研究成果的價值主張發展；為後續技術介入的第一市場分析；直接私營部門的夥伴關係形成，或其他政府的交接。</li> </ul>
確證的可靠性和安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 獨立測試在實驗室和現場系統的原型儲能材料、組件和裝置。</li> <li>• 深入調查退化的儲能，從材料到系統。</li> <li>• 退化、衰竭，以及安全流程/機制特性和模式。</li> <li>• 確證加速生命週期的測試標準。</li> <li>• 記錄性能方面的現場示範。</li> <li>• 繼先進的研究概念初步降風險之後，對技術的具體測試，以支持交</li> </ul>

目標	執行內容
	<p>接給政府和私營部門的合作夥伴。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>對用戶設備進行確證和系統性能測試。</li> </ul>
公平的監管環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>記錄會影響儲能部署的聯邦、各州和地方政策。</li> <li>審查整合資源規劃(IRP)和區域、各州與社區會影響儲能開發與部署的類似分析程序。</li> <li>可探索能影響技術屬性和部署的替代政策。</li> <li>為儲能性能、安全、包裝、週期壽命、控制和電網整合，支持發展具共識基礎的法規和標準。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>保存儲能技術和影響其部署屬性的公開資料。</li> <li>發布綜合資訊，說明儲能技術狀態、經驗(例如，美國復甦與再投資法案專案)，以及電網韌性、緊急應變、再生能源部署，和資產利用可認知的貢獻。</li> <li>提供儲能安裝和使用最佳作法，給監管機構、政策制定者和產業。</li> </ul>
產業/利害相關者接受度	<ul style="list-style-type: none"> <li>進行分析和開發工具，以評估儲能在成本有效地達成更高水準再生能源部署的有益角色。</li> <li>提供獨立的分析支持給公共和私營部門的研究，和現場試驗/示範彰顯儲能的收益和成本，以促進再生能源部署。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>與業界合作，以強化生產成本模型、瞬變事件，以及其他電網模擬/分析工具，以準確地把儲能納入系統，尤其是說明增強的韌性、緊急應變和再生能源整合。</li> <li>與業界合作，以發展營運和控制的工具和算法，有助於儲能的最佳利用。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究數學模型和算法，以進行即時最佳化交流電流量控制，和電網結構控制最佳化，包括儲能的考量。</li> <li>藉由與內政部和陸軍工程兵團合作專案，合作研究環境的不確定性，以改善水質模型和分析工具，以獲得抽水蓄能與水電專案更靈活的操作性。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>與業界合作，在控制試驗台測試原型裝置。</li> <li>報告從整合儲能美國復甦與再投資法案專案獲得結果。</li> <li>與業界、各州、國防部和其他利益相關者合作，進行現場試驗，和新的或改進的儲能技術示範，調查替代性部署環境，以便於各種電網應用/服務的評價，或探索電網整合和運行/控制方法。</li> <li>與私營部門金融機構協調，在申請美國能源部貸款計畫，以利創新商業儲能專案的承銷。</li> </ul>

## 柒、技術發展特定行動

在應用材料研究，使儲能裝置關鍵部件的科學和工程，由過渡狀態進入具體挑戰。這些進步對許多儲能技術是可能的，而開發努力著重的組件和概念，是藉由詳細的成本和性能模型導引，依據會對儲能的競爭力、安全、壽命，和其他屬性的影響最大的研究發展為優先。特別重要的一個領域，是更深入瞭解影響儲能元件可靠性的退化過程和機制。最終的目標，是有效地引導科學進展，和有前景的技術走向商業化。

在裝置開發領域，重點是對所有構成該交流電儲能系統的系統組件。儲能系統的總體成本，大致可以細分 25%-40%到核心裝置層級，於其中能量被保持直到需要而釋出為止，如在電池中化學/電解質、飛輪等；而約 20%至 25%分到相關的電力電子系統，這是要確保正確和安全的儲能充電和放電；其餘費用都與工廠營運平衡有關，也就是廠房設施，以及安裝、工程和融資。因此，研究發展和示範需要設計工具開發的進行，還有組件和系統有關權衡和優化的電化學工程，以及對組件、子系統和系統新設計的發展。在這方面，需要有針對性的計畫，以降低在裝置層級的資金成本。

也許最大的影響會來自系統層級的部署，因為在現場測試和評估，可以提供足夠的風險緩解，進一步提升產業採用儲能的意願。美國能源部已經與國營和私營合作夥伴，展開一些合作示範。系統層級部署還包括：

- 社區和商業機構、大學校園、購物中心等；
- 中央車站和配電所層級；
- 民用和軍用微電網；
- 管理再生能源發電的可變性；

- 獨立電網(夏威夷，阿拉斯加州，德克薩斯州和島嶼)；
- 從電動車/插電式混合動力汽車的電網服務。

## 捌、目標與特定行動分析

具體來說，定量分析讓決策者和新生的儲能行業能夠達成：

- 為各種固定式儲能應用程序和不同市場設計、電力基礎設施內的位置，以及使用狀況，制訂精準的成本和性能目標。
- 發展和強化儲能組件成本模擬，來指導研究發展時程，並為供應商社群指示降低成本的途徑。
- 闡明價值主張，並為投資者、監管部門和公用事業決策者開發業務案例，給新興技術灌輸信心。
- 評估各區域電網運行差異與不同市場設計，對儲能規模和控制要求的影響，並評估儲能在達成一個更有韌性、更可靠、更清潔能源基礎設施的作用，以提高國家的能源安全。
- 通知各州和聯邦監管機構和政策制定者，有關儲能在電網運行、資源和輸電規劃，以滿足21世紀國家需要的作用。
- 制定或強化規劃、設計和工程工具，以整合儲能到建築、配電，和輸電網絡。
- 迅速制定規範和標準，為大規模部署和市場接受度必要的一致程序和準則，填補差距。

為滿足上述這些結果，有針對性的分析和工具開發活動計畫如下：

- 組件成本模型
- 電力系統分析與技術支援

與各州和地區合作：

- 示範項目的分析
- 規劃工具開發
- 市場接受度

## **玖、儲能技術標準化**

當儲能領域正在為儲能社區和用戶發展成熟度和性能水準，標準化最為重要。美國能源部正在進行的一些活動包括：

- 美國能源部國際儲能數據庫(IESDB)
- 美國能源部/美國電力研究院與美國鄉村電力合作協會合撰的電力儲存手冊
- 美國桑地亞國家實驗室儲能測試盤
- 美國桑地亞國家實驗室積極發展一個協議，來測量和報告儲能技術的性能

## **參考資料**

1. U.S. Department of Energy. Grid Energy Storage - December 2013. <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/12/f5/Grid%20Energy%20Storage%20December%202013.pdf>