

電網級儲能技術研發現況與進展

劉玉章^{1*} 曾育貞² 呂永方¹ 沈錦昌³ 鍾人傑⁴

摘要

能源是經濟發展與民生不可欠缺的要素，臺灣能源幾乎全仰賴進口，因此發展具自主性的綠色新能源將是臺灣首要關注的焦點；由於新能源中的太陽能及風力發電都受天氣限制，隨著新能源在電網中比例提高，再生能源的不穩定性及間歇性問題漸凸顯出來，造成能源供應不穩定。而電網系統引入儲能環節後，可以有效地實現需求側管理，達到削峰填谷(晚上用電量需求較低，可將多餘的電力移到白天使用)或是冬電夏用的作用，以平滑負荷。不僅可以更有效地利用電力設備，降低供電成本，還可以促進可再生能源的應用，也可作為提高運行穩定性、調整頻率與補償負荷波動的一種手段。因此，本文將著墨於各儲能技術之發展現況、儲能系統安裝成本與系統價格，及未來各技術研發重點與規劃…等，期望能給相關單位參考，營造有助於再生能源及電網儲能產業之發展環境；也期望政府搭配相關技術輔導與獎勵措施，帶動再生能源與儲能技術之發展，並促進資本累積、新興產業發展與創造就業機會，最終將有利於臺灣經濟成長。

關鍵詞：再生能源、智慧電網、儲能技術、抽蓄水力、壓縮空氣

前言

為了讓人類有更好的生活品質，科技的進步日新月異，能源是經濟及各國發展的重要基礎。自工業革命後，全球為了提升競爭力也都大量的消耗了煤炭、石油、天然氣等石化資源，因此二氧化碳的濃度年年增加，導致了溫室效應的產生。近年來世界各地的天災不斷，有些雨量大增甚至暴雨，導致淹水成災；有些地方轉變成乾旱，未來植物的分布將受到極大的影響。美國環保署1988也曾評估，全球暖化將使北美洲內陸中緯度地帶的夏季嚴重乾旱。風暴的路徑及產生的頻率也將改變，土壤受侵蝕、搬運及沖刷作用的程度及速率也隨之變

動，土壤的特性也將慢慢變化。

這些影響為氣候變遷造成的後果。根據聯合國「政府間氣候變化專門委員會」(IPCC)的報告指出，人類幾乎確定是1950年以來全球暖化的主要黑手。其中最大的碳排放者是中國、美國與歐盟。綜合評估報告指出，二氧化碳、甲烷和氧化亞氮等三種主要助長地球暖化的溫室氣體濃度，已達到至少80萬年來的最高濃度。報告指出，再不減少碳排放，2100年時地表溫度將比工業化前升高攝氏4度，造成難以挽回的後果，例如格陵蘭冰原融化，導致海平面上升，沿海地區遭淹沒。並將導致饑荒、無家可歸、農物種損失，以及因資源短缺引發武力衝突。為了避免氣候變遷造成的衝擊，必須在

¹行政院原子能委員會核能研究所 副工程師

²行政院原子能委員會核能研究所 助理工程師

³行政院原子能委員會核能研究所 副研究員

⁴行政院原子能委員會核能研究所 研究員

*通訊作者, 電話: 03-4711400 ext. 5604, E-mail: eddyliu@iner.gov.tw

收到日期: 2014年11月25日

修改日期: 2015年03月13日

接受日期: 2015年04月15日

本世紀內將溫室氣體排放量降至零。

IPCC也呼籲多數國家在2050年前用低碳排放能源發電，減少全球排放量四至七成，並尋找綠色替代能源，以在2100年前能「幾乎全面」淘汰石化燃料，即有機會將碳排放減至零。以確保地球的溫度能控制在人類所能負荷的上限2度以內，避免氣候變遷造成的人類浩劫。綠色能源可以從化石燃料改用目前較成熟的風力、太陽能、波浪及潮汐發電等。建議全球再生能源使用量從原有的三成，於2050年前增加至八成。但是這些電能的產生是間歇且不連續的，而且發電量難以預測、又有虛功補償問題及機組裝置容量過小。當這些新型分散式發電系統佔越來越大的比重，將對電力系統的穩定性產生重要的影響，電力系統也越須要改善調整。隨著全球電力需求增加及尖、離峰電力差距的加大，對於能夠平滑電力負荷，且提高設備效率的需求也跟著增加；再生能源併網及滲透率提升，同時再生能源的間歇性及不確定性影響著電網的穩定性。太陽能及風力其發電量隨著氣候、時間與季節變化等因素產生之差異甚大，導致電力差異變化急遽增加。為提供電力公司更彈性的調度及相對應的備載容量需要，除了原來的電網結構和供用電的模式須要改變之外，可由資通訊、控制和電力電子等相關技術來蒐集、傳輸及分析電網資料，並根據分析結果進行適當的決策及動作之智慧電網、微電網或電網儲能扮演其與電網連結的角色，以提升電網的效能。

未來的電網將會面臨多種分散式發電系統需同時併接使用的問題，這些發電系統包含太陽光電、風力發電、生物能、柴油機等。由於這些發電系統之電壓特性及輸出特性皆不相同，尤其再生能源更容易受到天氣等不穩定性影響其輸出功率，要直接將所有發電系統併網並輸出使用，將是對電力品質的一大挑戰。再生能源加入併網儲能，目前處於發展與競爭階段。總體來看，分散式發電系統的轉換效率仍然遠小於大型集中電廠發電。在分散式發電系

統，特別是基於新能源的分散式發電中加入儲能系統就可以有效地提高能源利用率、降低環境污染並改善系統的熱經濟性。

儲能技術在穩定電網與提高再生能源的應用上扮演相當重要的角色。有效的儲能可以穩定再生能源輸出、具有削峰填谷的功能、穩定市電、頻率、進而提高整個電力系統的使用效率及發電的經濟效益。對於儲能系統併聯電網及區域分散式能源系統，透過整合分散式能源、資通訊技術、電能管理平台及電力品質控制等技術，有效地運轉控制區域分散式能源，並搭配儲能管理系統改善電力系統電力品質，減少其對電網之衝擊影響，以利未來能有效擴大分散式能源及再生能源供應與利用，同時加速國內智慧電網技術與產業發展，達成政府推動低碳家園之目標。

電網儲能應用技術多元，主要技術包含水力發電、壓縮空氣儲能、蓄電池包含鈉硫電池、氧化還原液流電池、鉛酸電池、鋰電池、地熱、飛輪、超級電容、超導磁體…等。而全球的電網儲能安裝量約為125,000 MW，其中有9成5以上是水力發電，其他安裝量皆在1%以下。水力發電技術應用在電網儲能中，主要做為電力負荷平移的工作，成本及地理限制是主要的考量；此外，水力發電容量通常在1,000 MW，且須環境評估。其他蓄電池技術則可用在較小容量的儲能，初始投資成本低，主要考量單位發電成本高。未來將隨著再生能源占比增加，加上電動車輛預期逐漸普及，須電網級儲能系統提供一個穩定的再生能源電網，以滿足未來再生能源的與日俱增。根據Pike調查公司估計2020年世界定置型儲能系統產值達350億美金。目前僅有抽蓄水力及地窖壓縮空氣技術足以達到電網級儲能系統的成本目標(0.03~0.01 USD/kWh/cycle)。

目前應用蓄電池儲能多為小型儲能，主要應用於再生能源儲能及輸配電儲能等。離島或島嶼地區因能源取得不易，日夜需電量差異大，採用再生能源搭配儲能的趨勢漸增。以夏

威夷為例，光是石油進口就占了當地90%的能源燃料來源。為了解決對進口燃料的依賴以及對環境和經濟的影響，夏威夷訂立了2030年要達到40%可再生能源占比的能源目標。為因應再生能源高普及率帶來的挑戰『供電不穩的特性』，導入儲能技術，在夏威夷的毛伊島安裝11 MW的鋰電池儲能，搭配風力發電及家用PV儲能，藉此達到電網可靠性、可用性，及電力品質。除了島嶼，不少電力公司也採用儲能設備以平滑風力發電及改善電網整合。全世界發展再生能源的國家，正積極評估電網儲能的可行性與必須性。儲能市場規模化雖尚需時日，但各界看好其市場潛力。Pike Research預估，儲能市場將快速成長，從2011年26億美元可望增長到2015年的71億美元。

臺灣是島嶼型國家，且能源幾乎仰賴進口，因此能源供應的安全性、穩定性與自主性是臺灣生存之首要關注的焦點。利用再生能源來降低對進口能源來源之依賴，改善能源供給結構，逐漸建立低碳能源供給體系，將是臺灣未來能源永續發展的重要關鍵，也應是臺灣發展新能源政策與法規之重要核心目標。建立一個長期穩定且具可預測性的能源法規環境，對於吸引如再生能源、電網儲能等需要大規模投資的新興產業來說相當重要；另一方面，臺灣未來能源永續發展之能源來源供給，須往「淨源」與「節流」方向考量。再加上因應國際溫室氣體減量之義務，將衝擊影響社會、經濟與政治各種層面，且牽涉我國能源、環保、產業經濟、農業等政策主管機關之重新檢討等複雜層面，故重新檢討並建立臺灣新一代能源及儲能政策與整體法規、架構早已是刻不容緩的課題。這確實是一項艱鉅任務，更是不得不重視的議題，而這也是我們動念展開相關研究之背景。本文重心將著重在世界各國之儲能政策與推動層面上，期望能給臺灣政府相關單位訂立儲能方面法規之參考，營造有助於再生能源及電網儲能產業之發展環境，搭配相關技術輔導與獎勵措施，帶動再生能源與儲能技術之發展

並促進資本累積、新興產業發展與創造就業機會，最終將有利於臺灣經濟成長。

1. 全球儲能發展現況

1.1 儲能概論

小規模之電能可以利用蓄電池來儲存，但大規模的電能目前只能使用「抽蓄水力」儲存；亦即利用兩個水池間的水位落差來儲存能量。新能源如風力、太陽能、波浪及潮汐發電等，電能的產生是間歇且不連續的。當這些新型分散式發電系統佔越來越大的比重，對電力系統的穩定性將產生重要的影響。總體來看，分散式發電系統的轉換效率仍然遠小於大型集中電廠發電。在分散式發電系統，特別是基於新能源的分散式發電中加入儲能系統就可以有效地提高能源利用率、降低環境污染與改善系統的熱經濟性。儲能技術在穩定電網、提高再生能源的應用上扮演相當重要的角色，有效的儲能可以提高整個電力系統的使用效率及發電的經濟效益。

近幾十年來，儲能技術的研究和發展一直受到各國能源、交通、電力、電訊等部門重視。電能可以轉換為化學能、位能、動能、電(磁)能等形態儲存。按照其儲能具體方式可分為機械式、化學能式及電(磁)式等儲能類型，詳見圖1.1-1。其中機械式儲能包括抽蓄水力、壓縮空氣及飛輪儲能；電磁式儲能包括超級電容與超導磁儲能；化學能式儲能則包括液流電池、鈉硫電池、金屬空氣電池、鉛酸電池、鎳鎘電池…等電池儲能。

各種儲能之形式有其適用的範圍及發展趨勢。依電力儲能適用範圍區分為：小於1 MW的電力儲能系統，包括飛輪儲能、蓄電池，電容器、超級電容器等，主要用於單一固定的用電機組及並串聯之蓄電池(鉛酸電池、鋰離子電池等)；10至100 MW電力儲能系統，包括氧化還原鈳液流電池、淺層壓縮空氣儲能發電系



圖1.1-1 儲能技術之種類

資料來源：本研究彙整

統、鈉硫電池、燃料電池等；大於100 MW電力儲能系統，包括水力發電系統、深層壓縮空氣儲能發電系統。圖1.1-2, 1.1-3說明各種儲能

技術之容量與放電功率大小及其適用領域之情境。

目前發展中的儲能技術包括抽水水力儲

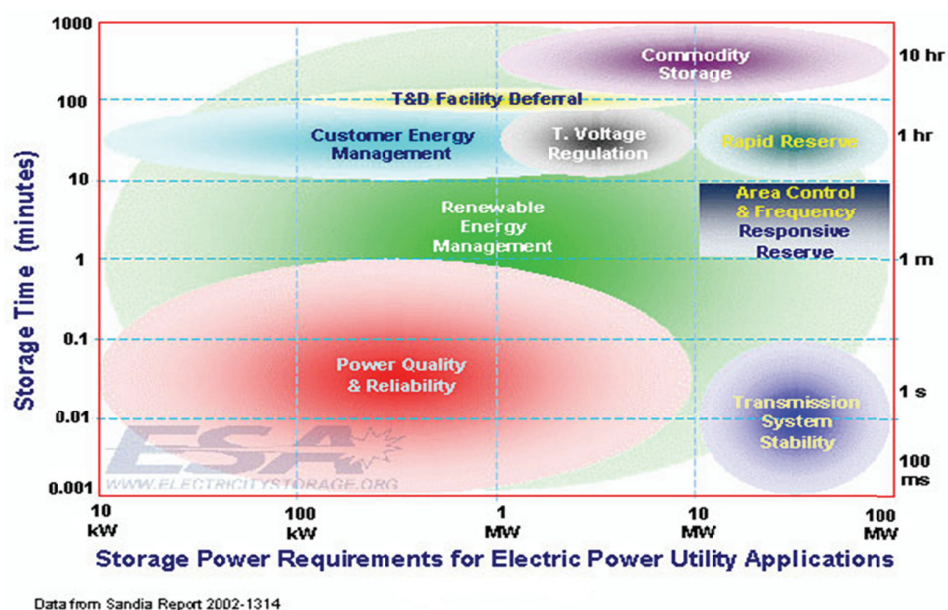


圖1.1-2 儲能設備於電力系統中之應用

參考資料：Daiwon *et al*, 2011

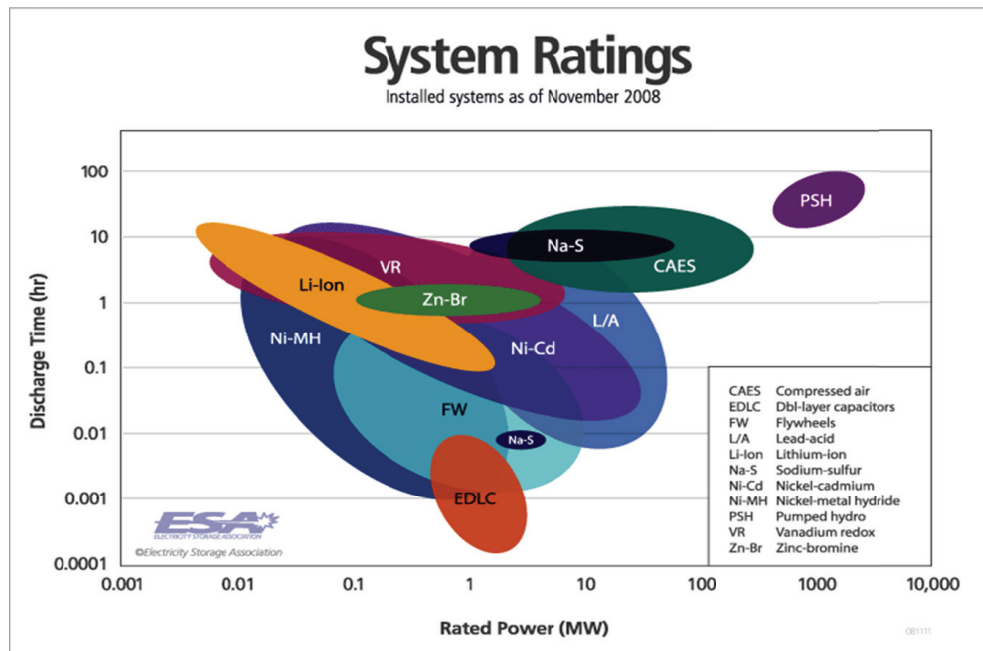


圖1.1-3 各種儲能設備之放電功率比較圖
參考資料：Optimal Power Solutions

能、壓縮空氣儲能、鋰離子電池儲能、飛輪儲能、超級電容儲能、超導磁體儲能、氢能儲能…等。鋰離子電池儲能和飛輪儲能技術目前已有商品化產品，並持續朝效率更高、儲能容量更大的新一代技術發展；壓縮空氣儲能、超級電容儲能、超導磁體儲能和氢能儲能則是未來中、長期發展的大規模儲能技術。根據2010年Electric Power Research Institute (EPRI)統計

顯示，全球已發展的大型儲能設備以抽蓄水力儲能(pumped hydro) 127,000 MW為主，其佔了99%的儲存容量，詳見圖1.1-4，其次是壓縮空氣儲能440 MW、鈉-硫電池儲能316 MW、鉛酸電池~35 MW、Ni-Cd電池27 MW、飛輪< 25 MW、鋰離子電池~ 20 MW、氧化還原液流電池< 3 MW等。

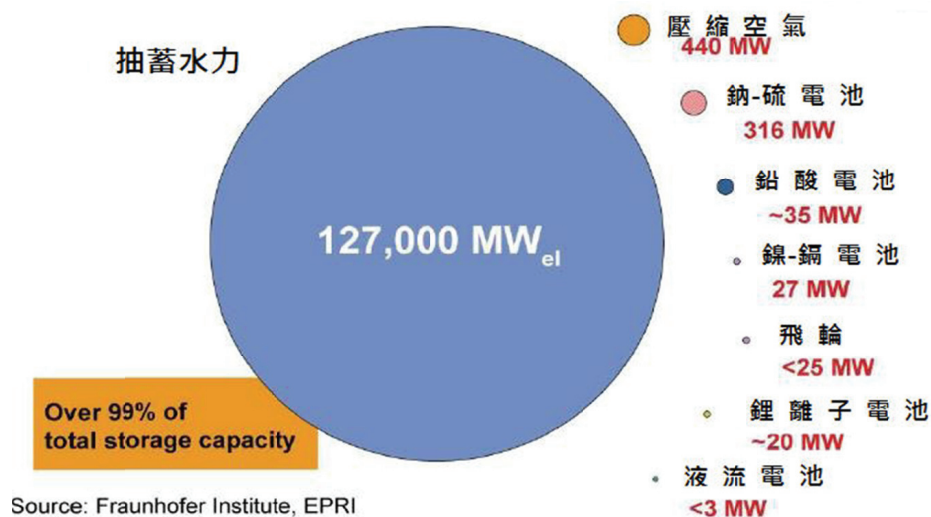


圖1.1-4 全球已設立之大型儲能設備其儲能含量比較
參考資料：Rastler, 2010

1.2 儲能市場簡介

1.2.1 機械能

1.2.1.1 抽蓄水力儲能

抽蓄水力儲能(Pumped hydro energy storage, PHES)是大型且成熟並具商業化規模的技術。通常整個系統會在不同高度有兩個以上的天然或人工蓄水庫，於離峰用電時段將水從一端的蓄水庫打到另一端較高處的蓄水庫，當有用電需求時，則將高處蓄水庫的水釋放出，通過渦輪水力發電機進入位置較低處的蓄水庫來發電。通常大部分的PHES系統為每日循環，而較大系統可能是以每週或以季來循環。根據SBC 2014年所提出的報告指出，全世界儲能的建置容量已達128 GW，其中仍以PHES的儲能容量為主(SBC Energy Institute, 2013)，詳見圖1.2-1與表1.2-1。

歐洲所設置的容量約38 GW，並且預計在2020年前會再新增7 GW之容量。表1.2-2列出預測歐洲27國從2010至2030所增加的水力發電量(Rastler, 2010)。根據IEA 2010的報告顯示，2010年時全球以hydropower作為再生能源有3,190 TWh；2050年時預估全球的hydropower可達到5,000-5,500 TWh；再下個十年，預期有較

表1.2-1 美國2011年之不同儲能系統的設置容量

美國電網中儲能建置容量(2011)	
儲能技術類型	容量(MW)
抽蓄水力儲能	22,000
壓縮空氣	115
鋰離子電池	54
飛輪	28
鎳鎘電池	26
鈉硫電池	18
其它(液流電池,鉛酸電池)	10
熱調峰(儲冰)	1,000
Total:	23,251

參考資料：SBC Energy Institute, 2013

大幅成長的國家有：中國、印度、土耳其、加拿大及拉丁美洲(SET-Plan, 2011)。

臺灣在日月潭水庫附近有明潭及大觀二廠兩座抽蓄水力發電廠，裝置容量2.6 GW，佔全臺總裝置容量的6.3%，其中明潭發電廠的裝置容量1.6 GW，大於核一廠，是亞洲第一、全球第四大的抽蓄水力發電廠。但是臺灣興建抽蓄水力發電廠的適當地點難覓，水庫又有破壞生態的疑慮，加上若因極端氣候而集中降雨時，下游地區將面臨洪水的威脅。所以臺灣新增抽蓄水力容量將遭遇許多難題。

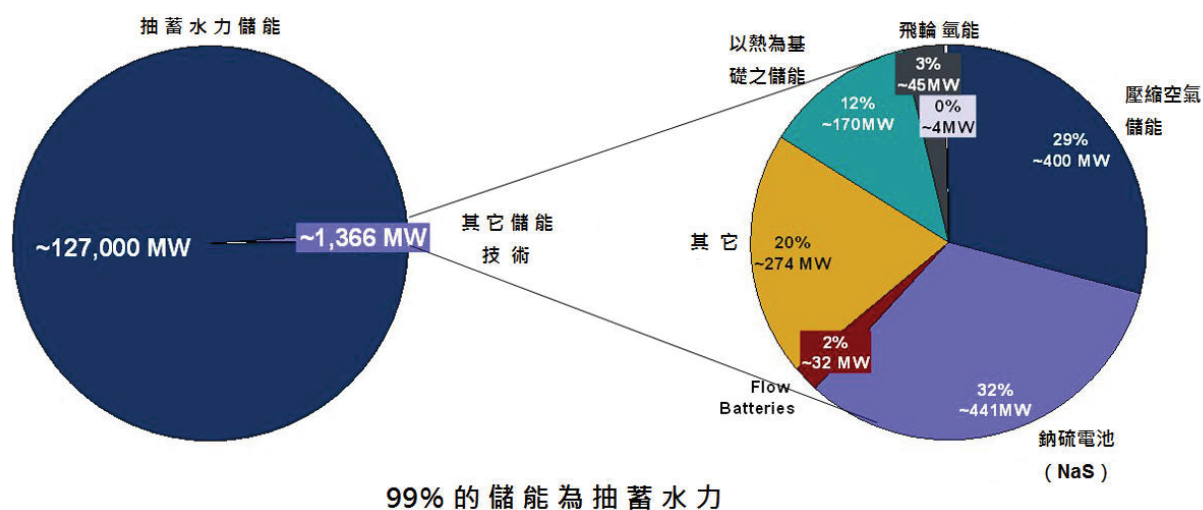


圖1.2-1 2013預估全球儲能系統之設置容量
參考資料：SBC Energy Institute, 2013

表1.2-2 現階段及未來歐洲27國之水力發電量

	GWh			發電(%)		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
歐洲27國	323,347	341,246	357,538	9.8	9.2	8.8
奧地利	37,651	41,769	45,033	59.3	57.2	54.8
比利時	366	408	477	0.4	0.4	0.4
保加利亞	4,065	4,169	4,357	10.2	8.6	7.8
塞浦路斯	0	0	0	0	0	0
捷克	2,263	2,361	2,433	2.8	2.5	2.2
丹麥	21	29	29	0.1	0.1	0.1
愛沙尼亞	17	22	22	0.2	0.2	0.1
芬蘭	13,206	13,396	13,715	16.7	14.7	14.6
法國	56,979	57,354	60,485	10.1	9.2	8.9
德國	21,054	22,349	23,856	3.3	3.6	3.7
希臘	3,999	4,358	4,805	6.5	5.9	5.6
匈牙利	147	1,043	2,345	0.4	2.3	4.6
愛爾蘭	691	707	705	2.6	2.2	1.8
義大利	38,369	38,710	38,992	12.8	10.7	9.5
拉脫維亞	2,881	2,931	3,380	49.5	33.0	33.4
立陶宛	419	449	466	6.5	3.3	2.5
盧森堡	90	92	94	2.6	1.8	1.4
馬爾他	0	0	0	0	0	0
荷蘭	99	99	99	0.1	0.1	0.1
波蘭	2,263	2,568	2,856	1.4	1.4	1.3
葡萄牙	10,371	11,092	11,491	22.4	21.2	19.2
羅馬尼亞	18,003	23,869	25,477	29.3	31.1	30.0
斯洛伐克	4,685	5,115	5,189	14.7	12.4	10.4
斯洛文尼亞	3,927	4,332	4,367	24.3	22.1	19.4
西班牙	29,499	30,967	33,530	10.0	8.7	8.2
瑞典	67,600	68,100	68,267	43.5	40.5	39.2
英國	4,682	4,958	5,099	1.2	1.2	1.1

參考資料：Rastler, 2010

1.2.1.2 壓縮空氣儲能

壓縮空氣儲能(Compressed Air Energy Storage, CAES)則是利用離峰的電力將空氣壓縮在一個儲存庫中。此儲存庫可能是一個地底洞穴、地上的管線或儲存槽，需要電力時，再將壓縮空氣加熱、膨脹，直接通過傳統的渦輪發電機來發電。根據EPRI報告中顯示CAES為

第二大的儲能系統，全世界的設置容量在440 MW左右(圖1.1-4)；而StrateGen Consulting 2011預測全球在CAES的設置容量也同樣為440 MW(圖1.2-1)；在美國方面，到2011年為止CAES的設置總容量為115 MW(表1.2-1)。

1.2.1.3 飛輪儲能

飛輪儲能(Flywheels Energy Storage)是一

個短暫的能源持續系統，其操作是將動能儲存在具先進高強度材料的一個旋轉中的轉子，充放電是經由一個發電機。飛輪具有非常快的反應時間，4毫秒或更短，大小在100 kW至1,650 kW之間，可持續時間至1小時。飛輪儲能設備能經由更多的飛輪模組來作放大，且有93%之非常高的效能，其壽命預估有20年(Rastler, 2010)。根據EPRI報告中顯示2010年止飛輪儲能系統全世界的設置容量低於25 MW (圖1.1-4)。StrateGen Consulting 2011預測全球在飛輪及其他儲能裝置的設置容量約為319 MW (圖1.2-1)。在美國方面，到2011年為止飛輪儲能的設置總容量為28 MW (表1.2-1)。

1.2.2 化學能

1.2.2.1 電池儲能

再生能源加入併網儲能，現處於發展與競爭階段。離網型儲能系統將提升安裝量，發展重心為電動汽車用電池相關研發，鋰電池成為汽車生產大國的策略性投資產業且大規模投資技術研發。

1.2.2.1.1 鉛酸電池

鉛酸電池是目前所有儲能電池系統(EES)中發展最成熟之儲能裝置，其具有低的成本價格、容易製造、快速的電化學反應性及好的循環壽命…等優點。最大的能量密度約為171 Wh/kg。GNB Industrial Power and Exide於美國阿拉斯加州 已經使用1 MW /1.5 MWh的鉛酸系統運轉15年(至2011年為止)，同時也發展10-20 MW的系統運轉中，目前成本約為\$425-\$980/kWh (SET-Plan, 2011)。

1.2.2.1.2 鎳鎘及鎳氫電池

鎳鎘電池(Nickel/Cadmium, NiCd)和鎳氫(Nickel/metal hydride, NiMH)電池大多運用於手提式的電子產品中，比鉛酸電池具有較長的循環壽命、較高的能量密度25-30%及較低的

維護成本。其中NiMH電池能量密度高於NiCd電池25-30%，且無毒性，是較佳的選擇(Nair, 2010)。

1.2.2.1.3 鋰離子電池

為了與初期採用鋰金屬的「鋰電池」做出區別，因此特別取名為「鋰離子電池」(Lithium ion battery)。1990年，日本Sony Energytech Inc推出了以碳材為負極、LiCoO₂為正極的「鋰離子二次電池」，推動鋰離子電池的商業化進展。20年來，鋰離子電池發展集中在3C產品為主，無法有效取代鉛酸電池，延伸應用到儲能與動力電池市場，包括電動車、電動手工具與中大型UPS等。主要原因就是鋰離子電池的正級材料LiCoO₂，無法提供大電流、高電壓、耐穿刺、高溫等特殊環境與安全需求。

1996年德州大學Goodenough教授團隊發現了磷酸鋰鐵LiFePO₄的正極材料。此類物質為一種橄欖石結構，此種材料在穩定性方面遠遠優於一般3C產品使用的鋰鈷正極層狀材料，即便遇到穿刺、過充電或大電流通過時，也不至於有爆炸的危險，安全性能大幅度提高。也因此使得鋰離子電池，不僅在中型的電動工具及電動車輛市場，也在大型儲電的應用出現曙光。由於鋰離子電池在能量密度與功率密度上遠優於其它類型的蓄電池，因此在設置空間場所有限的應用情境下，具有相當的優勢；加上高循環壽命及能量轉換率達85%-90%的優異性能，在微型電網以及再生能源儲電應用已有相當多的實例，例如2008年Altair Nanotechnologies Inc.與AES Corporation所建置於53呎長拖車上的1 MW / 250 kWh鋰離子電池儲電系統，做為AES供電系統頻率調節(frequency regulation)的用途(圖1.2-2)；另外2008年A123 Systems也分別設置2 MW以及12 MW鋰離子電池儲電系統於應用於California ISO和AES Gener在智利的Lose Andes變電所，做為配電系統頻率調整及熱備載容量(spinning reserve)的用途。

中國完成全球最大鋰離子電池儲能站，比



圖1.2-2 1 MW / 250 kWh 鋰離子電池儲電系統
參考資料：Altair Nanotechnologies, 2008

亞迪公司(BYD)與中國國家電網公司(SGCC)完成了36 MWh的電力儲能站；A123 Systems與ZBB Energy等美國電池公司已與中國企業合資進行試驗計畫；Boston-Power公司則正在上海建造鋰離子電池工廠。日本ENAX公司開發磷酸鐵鋰材料之鋰離子電池，採用住友大阪水泥生產的磷酸鐵鋰之鋰電池正極材料與石墨負極材料，充放電次數可超過3,000次。普通磷酸鐵鋰電池充電容量約130 mAh/g，換成住友大阪水泥之正極材料提升至158~159 mAh/g；臺灣升陽國際半導體公司之磷酸鋰鐵電池，最大特點在於其瞬間之超大之動力輸出能力，超長之壽命及安全性。其40138磷酸鋰鐵動力鋰電芯能量密度提高到18 Ah (150 Wh/Kg)，與市場常用之鋰錳電芯之能量密度相當，安全性又遠比鋰錳好，且壽命為其四到五倍以上(SET-Plan, 2011)。於第二十一屆精品獎推出的「48芯標準電池組」，為臺灣唯一通過日本UL S-mark認證之最高能量磷酸鋰鐵3U標準電池組，使用在儲能系統上才可獲得日本政府之補助。此電池組適合用於一般家庭用或企業用之儲能系統外，尚可用於4G通訊基地台及雲端之中大型之不斷電系統，亦可與綠能系統結合，用於太陽能及風能之儲能系統。日後可以逐步擴大至國內與海外其他市場，以取代其它高污染性電池，成為綠色能源最佳解決方案。另外，核研所也建立一300 kW微型電網測試試驗場全區供電與負載之微型電網系統。國內產業則有使用長園科

技鋰鐵電池開發高壓控制箱之裕隆電能360 V微電網系統。

美國Envia Systems電池科技公司研發出能量密集型新型電池，單位重量的鋰電池儲存能量是目前電池的兩倍，這將為電動汽車長時間、長距離行駛創造基本條件，實現400 Wh/kg的儲能密度。此新型電池採用高能富錳的陰極材料提高能量密度，並通過合併矽及石墨，解決矽陽極使其他電池失去反復充電和放電能力的問題。日產汽車的LEAF電動車裝上Envia的電池可能只需10美元，就可行駛300英里(約483公里)，而非現在的80英里(約129公里) (Nair, 2010)。可充放電的鋰離子電池在電子產品上之應用，全世界每年可生產10-12 GWh。而商業應用上，於插電式油電混合車(plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)及電動車(electric vehicle, EV)的應用，PHEV的容量可達15-20 kWh、EV可達50 kWh。

1.2.2.1.4 液流電池

全鈦液流儲能電池(Vanadium redox battery, VRB)技術1980年代發展於澳洲新南威爾斯大學(University of New South Wales, UNSW)。1996年澳洲Pinnacle VRB取得UNSW的VRB專利權並授權予日本住友電工(Sumitomo Electric Industries, SEI)，此後SEI在日本推動幾項的專案進行VRB系統的儲電示範與驗證。2005年SEI公司獲得日本NEDO專案資助，建造世界上規模最大的鈦電池儲能系統用於苫前町(Tomamiae)風電場儲能。該系統額定功率4 MW，最大功率6 MW，儲能時間1.5小時，平穩風電場不穩定的功率輸出(該風電場位於日本Hokkaido島，由J-Power公司負責運營，發電功率為32 MW)，如圖1.2-3。VRB系統在3年的時間實現迴圈270,000次，並成功實現儲能系統SOC (State of Charge)的即時監測管理，2008年計畫結束即拆除。

加拿大VRB Power Systems公司在全鈦液流電池系統的開發與商業化也有不錯之成效：在

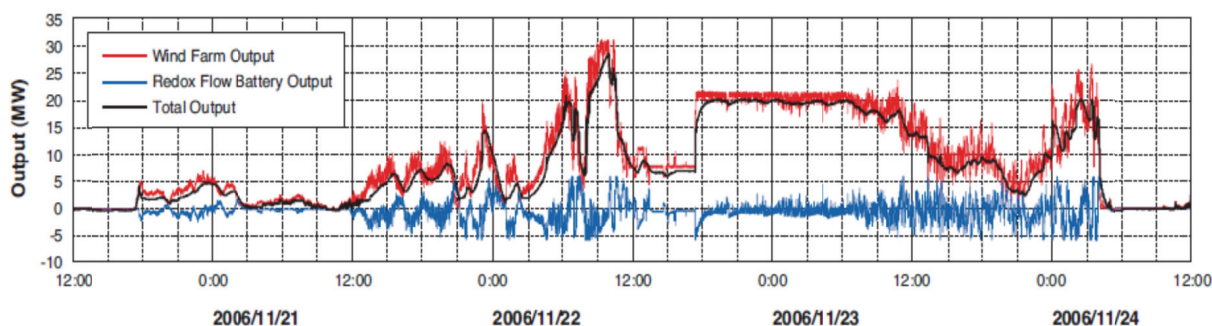


圖1.2-3 風電場結合鈔電池儲能系統
參考資料：Toshikazu Shibata, 2013

2003年11月替澳大利亞King島Hydro Tasmania建造之與風能及柴油機混合發電系統配套的鈔電池儲能系統(200 kW /800 kWh之VRB-ESS)已正式完工並投入運行。此VRB-ESS的使用提升King島上的混合發電系統性能，使風力發電系統穩定供電並減少對柴油機發電量需求，降低燃料費用及廢氣排放量，如表1.2-3所示。

之後2004年2月VRB Power Systems公司又為Castle Valley, Utah Pacific Corp公司建造了250 kW、儲能容量為2 MWh的全鈔液流儲能電池系統，用於電廠的削峰填谷與平衡負載。近幾年來VRB Power Systems公司將其5 kW的全鈔液流儲能電池系統用於通訊基站備用電源並加以推廣(SET-Plan, 2011)。

奧地利Cellstrom GmbH公司在2008年成功開發出10 kW/ 100 kWh的全鈔液流電池儲能系

統，能量轉換效率可達80%。並與Solong AG光伏公司合作將該系統與太陽能光伏電池配套用作城市電動車的充電站，在奧地利維也納進行應用示範。此外，中國大陸的大連化學物理研究所，從2002年開始進行全鈔液流儲能電池關鍵材料和系統集成的研究與開發工作。於2006年成功研製10 kW級全鈔液流儲能系統之電池模組及100 kW級的全鈔液流儲能電池系統，充放電能量效率為81% (Brad, 2011)。VRB系統壽命可達15年以上，其電極壽命更可高於25年以上，可100%充放電，整體儲能應用建置成本約為\$620-\$740 /kWh (SET-Plan, 2011)。

目前國內核能研究所等也投入全鈔液流儲能電池系統的研究與開發。以關鍵核心研發為基礎，透過技術轉移扶植國內業界建立，形成從上游材料端、中游元件製造端與下游應用端

表1.2-3 風能及柴油機混合發電系統搭配鈔電池儲能系統

項 目	量	效 益	年 產 值
減少備載儲量	8 hr/天	440 l/天 燃油量 @\$0.57/l	\$91,500
改善操作效率	25 L/hr降低油耗	440 l/天 燃油量 @\$0.57/l	\$83,200
捕捉“瀉逸”的風	1,100 kWh/天	246 l/天 燃油量 @\$0.57/l	\$51,200
降低維護	發電機組每天運行的時間少於12 hr	具有較長的維護週期	\$23,000
總計		\$248,900, 3.5年可以回收投資本金	
減少排放	4,000,000 kg/yr CO ₂		
	99,000 kg/yr NOX		
	75,000 kg/yr 燃燒不完全的碳氫化合物		

參考資料：SET-Plan, 2011

完整的產業鏈，使國內能有效掌握關鍵材料與元件自主技術，形成完整儲能產業連結，以期達到0.1 USD/kWh/cycle的可商業化目標，長期達到0.025 USD/kWh/cycle的成本目標。

1.2.2.2 氫氣儲能

氫能可自再生能源轉製，被各國視為最具提升國家能源安全、減少溫室效應氣體排放、減少空氣污染及提升能源使用效率潛力之二次能源。因此，美國、日本、歐盟及其他先進國家分別提出氫經濟願景，並大舉投入氫能科技研發。各國在數年前宣示的氫能發展方案中，都希望在2015~2020年開始導入氫能使用，在2040年左右達到大量使用氫能源的目標。目前全世界有超過千家以上的企業及研究機構投入氫能技術研發，而全球簽署「氫能經濟國際夥伴計畫」(International Partnership for the Hydrogen Economy, IPHE)條款，正式為氫能源創造國際合作的國家有澳洲、巴西、加拿大、中國、歐盟、法國、德國、冰島、印度、義大利、日本、韓國、挪威、俄國、英國和美國等國，預期未來還會有更多國家加入合作的目標。此外，氫能的公共建設如加氫站在全球的數量也不斷增長，據統計，截止2014年4月，全球運行中的加氫站總量為187座，計畫建設數量為94座；日本的燃料電池汽車到2025年有望達到200萬輛，而政府計畫在2015年建成100座加氫站，2025年達到1,000座。因此由種種跡象顯示，氫能技術已得到全球的重視，吸引全球的投入(Nair, 2010)。

在歐盟，燃料電池與氫能屬中長程能源

技術的選擇，符合歐盟2020年的目標規劃，並預期會扮演重要的角色。為了能在2050年降低80~95%的溫室氣體(SET-Plan, 2011)，氫能技術大規模的發展，增加國內的能源使用資源及確保歐盟的安全能源供應。表1.2-4顯示從2010~2020年燃料電池的性能及輕型燃料電池電動車(light-duty fuel cell electric vehicle, FCEV)氫消耗的目標(SET-Plan, 2011)。

1.2.3 電磁能

1.2.3.1 超導磁體儲能

超導磁體儲能(superconducting magnetic energy storage, SMES)是利用超導線圈通過整流逆變器將電網過剩的能量以電磁能形式儲存起來，需要時再通過整流逆變器將能量饋送給電網或其他用途。由於超導線圈在超導狀態下無焦耳熱損耗運行，同時電流密度比一般常規線圈高1~2個級數，因此能長時間無損耗的儲存能量，且達到很高的儲能密度，而且儲能效率高且響應速度快也是其他儲能裝置無法比擬的優點。

目前SMES主要是開發微型裝置之實際應用。美國、德國和日本等提出了開發100 kWh等級的微型超導儲能裝置建議，如用於磁浮列車、計算機大樓和高層建築等用途之超導儲能系統；德國、義大利和韓國等也都展開微型超導儲能裝置之研究。美國IGC和AMSC公司的微型超導儲能裝置(1~10 MJ)已商品化。AMSC公司目前正在開發一種新的配電超導磁體儲能系統(D-SMES)，主要用於功率調節上(吳欣

表1.2-4 2010~2020年燃料電池的性能及輕型燃料電池電動車之氫消耗的目標

	2010	2015目標	2020目標
電堆功率密度	1.8 kW/litre	2 kW/litre	2.4 kW/litre
燃料電池電動車耐久性	2,000-2,500	5,000 h	5,000 h
系統效率		60%	60%
燃料消耗量	1 kgH ₂ / 100 km	0.9 kgH ₂ / 100 km	0.85 kgH ₂ / 100 km

參考資料：SET-Plan, 2011

欣, 2011; 林良真與冉立業, 2008)。此外, 日本 2004-2007 年超導磁體儲能國家型計畫(NEDO project, JFY 2004-2007), 開發 10 MVA / 20 MJ 的低溫 SMES 系統, 現已於示範階段。其使用的超導磁線圈材料為 NbTi, 且需液氮來維持系統的低溫狀態, 其詳細規格如圖 1.2-4 所示 (Tsukamoto, 2008)。

美國能源部 DOE's Advanced Research Projects Agency-Energy (ARPA-E) 於 2011 年資助一項使 SMES 系統能應用於電網 MW 等級之儲能方式計畫。在華盛頓 2011 年 3 月 2 日召開的 ARPA-E Conference 上, 瑞士工程公司 (ABB Ltd.) 獲美國 ARPA-E Awarded Projects 投資 420 萬美金, 並與美國 Brookhaven National Laboratory、Houston 大學及超導線材製造商 SuperPower 合作, 發表 3.3 kW/h 的中型超導磁體儲能系統計畫, 儲存含量為 3.4 MJ、於溫度 4.2 K 下磁場達 30 T, 系統循環效率達 85% 以上, 能以較低之成本儲存更多之能量, 未來目標將擴建至大容量的 1~2 MW/h 電網級的商業化儲能系統。預期可與其他受地形限制之儲能系統如: 抽蓄水力、壓縮空氣…等競爭。

目前全球主要的 SMES 廠商有: 美國超導公司 (ASC)、日本住友電工 (SEI)、Bruker 集團、Southwire 公司、SuperPower 公司、德國先進超導技術 (EAS) …等。全球 SMES 市場規模平穩成長, 有望從 2010 年的 3,000 萬美元增長

到 2015 年的 3,900 萬美元 (中國儲能網, 2011)。在 2010 年全球 SMES 市場中, 美洲地區市場份額占 39%、亞太地區占 25%、歐洲中東及非洲地區占 36%。而超導磁儲能市場規模相對其他儲能技術相比, 市場發展潛力較小 (SET-Plan, 2011)。

1.2.3.2 超級電容儲能

超級電容是根據電化學雙電層理論研製而成的, 可提供強大的輸出功率。充電時處於理想極化狀態的電極表面, 電荷會吸引周圍電解質溶液中的異性離子, 使其吸附於電極表面, 形成所謂的雙電層, 而構成雙電層電容。由於電荷間距非常小 (<0.5 mm), 加上採用表面積極大的電極結構, 因此可產生極大的電容量。

日本 Wakkanai 市已建立大型光伏發電系統及 5 MW 的儲能系統。其採用 1.5 MW 鈉硫電池和 1.5 MW 雙電層電容的複合儲能技術 (吳欣欣, 2011; 林良真與冉立業, 2008; Brad, 2011)。DOE's Advanced Research Projects Agency-Energy (ARPA-E) 亦於 2011 年支援美國 FastCAP System 公司約 535 萬美元, 發展以奈米碳管為主之超級電容, 以提升電容能量密度至普通電池等級, 但功率密度卻是電池的數倍及上萬次的循環壽命。此可大幅度降低電動汽車或混合動力車及電網級儲能系統之成本 (Brussels, 2011)。而 FastCAP 公司生產之奈米碳管電極的超級電

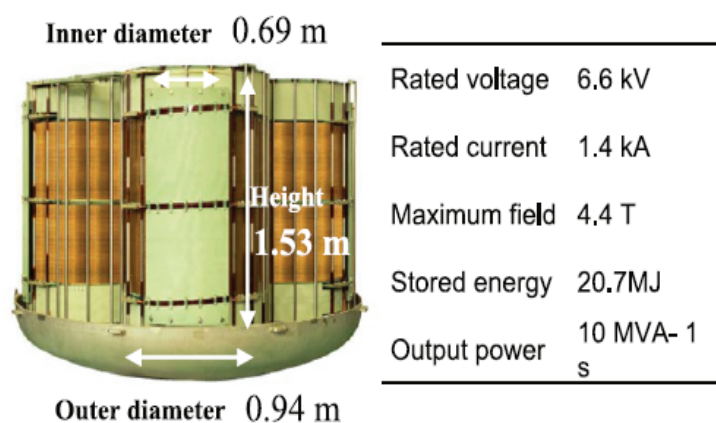


圖 1.2-4 日本開發之 10 MVA / 20 MJ 的儲能系統
參考資料: Tsukamoto, 2008

容現已商業化，應用於走走停停之公車與汽車上。利用混合動力電動馬達來達到節省燃料之效果或單一超級電容儲能系統，其只需幾秒鐘即可快速充電完成，隨即又可快速放電。

南韓電子公司Neescap於2012.01宣佈將出資900萬美元拓展旗下交通、電力系統及消費電子產品用之超級電容(Industry Information Station, 2011)。根據尚普諮詢發布的《2011-2016年中國超級電容器隔膜市場分析及投資前景研究報告》顯示(王慧梅, 2011)，中國政府部門對新能源汽車越來越重視，工信部、科技部、國資委等部門皆支持新能源汽車產業發展的政策，預計未來十年會有近千億人民幣的投入(Nair, 2010)。在美國，有能力設計並製造超級電容產品所需之材料和電解質的公司，有Graphene Energy, EnerG2, Ioxus及FastCAP四家。2010年全球超級電容器市場規模約\$ 4.7億美元，超級電容器之需求預計將以穩定速度成長，未來5年內以複合年增長率為20.6%成長粗估，2015年將可達到價值約\$12億美元(BCC Research, 2011)。

國內產業部分則著重於技術材料之開發，如：佳榮能源發展奈米陶瓷複合金屬電極材料及雙極式層疊封裝技術，具高功率和高能量密度特性(能量密度可達9 kJ/L，功率密度130 kW/L)，且單一元件工作電壓1~100 V，可進行瞬間高電流充放電，高頻時之放電電流率遠勝以所有活性碳原料製成之超級電容。工研院材化所用壓延法製高性能電極，克服表面積電極材料於塗佈法不易加工之缺點，具高電容量與低電阻特性，該元件設計已申請專利。

2. 儲能技術成本及系統價格

根據美國電力研究協會EPRI 2010年所提出的「Electricity Energy Storage Technology Options」報告指出，在機械能之於各不同建置容量(MW)的總成本，如表2.1所示；IEA 2014的統計，適合大規模長期儲存的電力裝置PHES

的投資成本為500-4,600美元/kW (表2.2)。

在電化學儲能方面，目前一般常用於小規模電力裝置，應用於分散式電網、離網或是短期儲存。表2.3為常用之儲能電池特性及成本比較。

3. 儲能研發重點與未來發展

由於目前電網儲能技術除了抽蓄發電、壓縮空氣儲能系統外，其它技術成本過高，美、日、中國大陸及德國等指標國家皆由政府主導多項大型儲能示範計畫。此外，日本以資金補助企業開發先進儲能系統，鋰電池儲能部分則以設備補助以扶持國內儲能設備與系統廠商。日本政府於2012年9月發表「革新能源環境戰略」，預計在太陽能發電2020年要達到28 GW，2030年要達到53 GW；風力發電2020年要達到5 GW、2030年要達到6.7 GW目標。為解決再生能源占比增加，電網不穩定的問題，日本政府積極發展電網儲能，並透過儲能示範應用，採用不同的儲能技術平滑連結電網，同時也藉此引領全球儲能技術發展。2015年初，中國啟動了第一個商業化的可再生能源儲能應用，此儲能應用是目前世界最大的。項目的一期包括100兆瓦的風電、40兆瓦太陽能、14兆瓦的鋰離子電池和鈳氧化還原液流電池及智能變電站系統。

我國新能源政策由總統於100年11月3日公布，以「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」作為總體能源發展願景與推動主軸。其中針對全力推動再生能源、穩定電力供應及降低碳排放中提及發展儲能並適時應用推廣，以開拓綠能產業新發展領域。經濟部於101年2月29日「新能源政策與節能減碳配套措施推動規劃」的推動主軸中，強調發展儲能技術增進電力系統穩定度。發展目標為大型儲能屬國家型整體能源管理需求，亟須加速進行相關研發及示範應用，以利2030年布建MW~GW級儲能及微電網配套措施。

表2.1 MW等級之不同儲能系統的特色比較

技術	成熟度	容量(MWh)	功率	續航時間	%效率 (總圈數)	總成本 (\$/kW)	成本 (\$/kWh)
儲能支持系統和可再生能源一體化							
抽蓄水力	成熟	1,680-5,300	280-530	6-10	80-82	2,500-4,300	420-430
		5,400-14,000	900-1,400	6-10	(>13,000)	1,500-2,700	250-270
室溫-壓縮空氣(地下)	展示系統	1,440-3,600	180	8	註1 (>13,000)	960	120
				20		1,150	60
壓縮空氣(地下)	商業化	1,080	135	8	註1 (>13,000)	1,000	125
		2,700		20		1,250	60
鈉-硫	商業化	300	50	6	75(4,500)	3,100-3,300	520-550
先進鉛酸	商業化	200	50	4	85-90(2,200)	3,100-3,300	520-550
	商業化	250	20-50	5	85-90(4,500)	1,700-1,900	425-475
	展示模型	400	100	4	85-90(4,500)	4,600-4,900	920-980
鈳-氧化還原	展示模型	250	50	5	65-75 (>10,000)	3,100-3,700	620-740
鋅/溴氧化還原	展示模型	250	50	5	60 (>10,000)	1,450-1,750	290-350
鐵/鉻氧化還原	研發中	250	50	5	75 (>10,000)	1,800-1,900	360-380
鋅/空氣氧化還原	研發中	250	50	5	75 (>10,000)	1,440-1,700	290-340
ISO快速頻率調節和可再生能源一體化的儲能							
飛輪	展示模型	5	20	0.25	85-87 (>100,000)	1,950-2,200	7,800-8,800
鋰離子	展示模型	0.25-25	1-100	0.25-1	87-92 (>100,000)	1,085-1,550	4,340-6,200
先進鉛酸	展示模型	0.25-50	1-100	0.25-1	75-90 (>100,000)	950-1,590	2,770-3,800
技術發展電網支撐應用程序之儲能							
壓縮空氣(地面)	示範	250	50	5	註1 (>10,000)	1,950-2,150	390-430
先進鉛酸	示範	3.2-48	1-12	3.2-4	75-90(4,500)	2,000-4,600	650-1,150

參考資料：SET-Plan, 2011

註1：EPRI參考報告中的數據估算，包括以下的假設和說明。

所有系統是模組化的，數值是根據供應商和系統商2010年所提供的總安裝資本成本估算範圍。其中電力電子的所有成本包括，安裝的成本、升壓變壓器、電網互連和智慧電網通信及控制。電池的數值報告是以放電深度為額定條件。電池成本取決於技術的成熟度，其中包括製程和突發性項目。

經濟部能源局於102年4月指出再生能源發電係屬間歇性電源，併入電網時，將造成電壓浮動，影響區域電網供電穩定度。臺灣電力

網為獨立系統，再生能源電力占比達一定比例時，須克服系統供電穩定問題。目前再生能源年利用率：風力發電約28% (陸域)~38% (離

表2.2 不同儲能技術之成本、特性及應用

技術	地點	輸出	效率 (%)	初始投資成本 (USD/kW)	基本應用	計畫案例
壓縮水力	供給	電力	50-85	500-4,600	長期儲存	德國Goldisthal計畫；日本Okinawa Yanbaru Seawater PSH Facility；巴西Pedreira PSH Sation
地熱儲能	供給	熱	50-90	3,400-4,500	長期儲存	加拿大Drake Landing Solar community；挪威Akershus University Hospital and Nydalen Industrial Park
壓縮空氣	供給	電力	27-70	500-1,500	長期儲存	美國Alabama McIntosh；德國Huntorf
坑儲能	供給	熱能	50-90	100-300	中溫應用	丹麥Marstal district heating system
熔鹽	供給	熱	40-93	400-700	高溫應用	西班牙Cemasolar CSP Plant
電池	供給	電力	75-95	300-3,500	分布式/離網儲存，短期儲存	鈉硫電池(美國德州Presidio和日本Rokkasho Futamata 計畫)；鈎液流電池(日本Sumitomo's Densetsu Office)；鉛酸電池(美國Notrees Wind Storage驗證計畫)；鋰離子電池(美國AES Laurel Mountain)；鋰高分子(法國Autolib)

參考資料：Maria, 2014

表2.3 儲能電池之特性、成本比較

項目 / 種類	鉛酸/膠體	鋰離子電池 (錳,鐵...)	空氣電池	超級電容	鈎液流電池
使用疑慮	環保問題 不能深度放電	安全問題 成本過高	技術尚未純熟 目前僅用於小 容量儲能	不適用 大容量儲能	成本較高
使用循環壽命	600次	1,200~1,500次	400次	不限	5,000~ 20,000次
充放電效率	40%~50%	放電 80% 充電 < 60%	68%	—	80%以上
目前使用成本 Levelized cost (TWD/kwh/cycle)	12元	7元	1元	—	0.9~3.6元
理想/可放電深度	30% / 50%	50% / 80%	目前多用於 一次電池	—	100%

資料來源：工業技術研究院整理

岸)，太陽光電則為14%。微電網具穩定電壓及頻率功能，可有效引入再生能源進入電網，提升區域電網再生能源之使用率。其次，微電

網具有尖峰用電調節(Peak Shaving)作用，可降低尖峰用電的系統設備需求規格及成本，配合時間電價制度抑制用電行為，達到節能減碳目

的。未來微電網須將電力傳輸自動化、資通訊控制及能源管理技術整合；其中能源管理部分即須包含儲能系統。有關未來儲能研發重點詳述如下：

1. 依據European Commission 2011的報告指出，未來PHES研發重點在抗腐蝕材料與先進材料的發展，應用於較深層與頻繁的負載及

海水(Brussels, 2010)。日本琉球建造了一座30 MW的海水PHES系統，這套系統已於1999年開始運作。利用海水時，抗腐蝕材料是一個重要的發展議題，海水PHES系統具有很大的潛力(Industry Information Station, 2011)。在PHES的部分，現階段的情況為GW的儲存容量，具有較低的循環成本及高容量建置成本，從350歐

表3.1 不同之新型儲能系統在R&D的目標與時程

儲存形式	狀態 / 創新	預計布署時間
鈉/氯化鎳	用於巴士運輸系統，現正轉向電網儲能使用。實驗室規模模組測試。研發改善較低成本之Na-NiMx	2011-2012初驗證及現場試驗
鋅-空氣(可充電)	實驗型及實驗室規模。集成系統	2011 dc模組測試 2012目標示範場現場測試
鐵/鎳液流	實驗室規模測試 低成本儲存	2011 dc模組測試
鋅/氯液流	實驗室規模測試 低成本儲存	2011 dc模組測試
液態空氣	系統研究中 低成本大容量儲存	2011-2012第一個展示系統
無/低燃料壓縮空氣	正進行系統研究，以優化週期和儲熱系統 無/低燃料技術適用於大容量儲存	2015 5MW系統示範場驗證
地下抽蓄水力	系統研究中 發展新概念	研究中
奈米超級電容	實驗室測試 高功率與能量密度：成本低	2012-2015
進階飛輪	系統研究中 高能量密度	發展中 2012
氫/溴液流	實驗室型規模測試 低成本儲存	2012-2013示範場展示
先進鉛酸電池	模組測試 低成本；高循環壽命	2011-2012初現場試驗
新穎化學	實驗室型規模測試 低成本；高循環壽命	2011-2012模組測試
恆溫壓縮空氣	發展與實驗室規模測試 無燃料壓縮空氣適用於分布式	2011-2012示範場系統測試
先進鋰離子， 鋰-空氣電池	實驗室階段 低成本；高能量密度	2015-2020
水性電解液鈉離子 混合裝置	實驗室型小裝置及模組測試 低成本，長壽命	2011展示系統單元，2012-2014 商業化發展

參考資料：SET-Plan, 2011

表3.2 不同儲能系統於電網輸配電應用之特性比較

應 用：							
<ul style="list-style-type: none"> • 電網輸配電 • 調峰：資本支出延遲，可靠性 • 雙模式頻率調節 / RTO市場參與 							
技術	成熟度	容量 (MWh)	功率 (MW)	續航時間 (hrs)	效率(%) (總圈數)	總成本 (\$/kW)	成本 (\$/kW-h)
壓縮空氣 (地面上)	展示模型	250	50	5	(>10,000)	1,950-2,150	390-430
先進鉛酸	展示模型	3.2-48	1-12	3.2-4	75-90 (4,500)	2,000-4,600	625-1,150
鈉-硫 鋅/溴	商業化	7.2	1	7.2	75 (4,500)	3,200-4,000	445-555
液流	展示模型	5-50	1-10	5	60-65 (>10,000)	1,670-2,015	340-1,350
釩液流	展示模型	4-40	1-10	4	65-70 (>10,000)	3,000-3,310	750-830
鐵/鉻 液流	研發中	4	1	4	75 (>10,000)	1,200-1,600	300-400
鋅/空氣	研發中	5.4	1	5.4	75 (4,500)	1,750-1,900	300-400
鋰離子	展示模型	4-24	1-10	2-4	90-94 (4,500)	1,800-4,100	900-1,700

參考資料：SET-Plan, 2011

元/kW到1,500歐元/kW，效率為70~80%。未來在2020-2030年的目標為發電材料的設計與研究及渦輪機效率的改善；2050年最終目標為降低成本及效率改善(Brussels, 2010)。不同新型儲能系統之R&D研究目標與時程，如表3.1所示。此外不同儲能系統於電網輸配電應用之特性比較，請參考表3.2。

2. 在化學儲能電池方面，(1)鉛酸電池目前的發展都著重在新型鉛酸電池(Pb-C)上，其主要的優點有：迴圈壽命長、快速充電(高倍率能力)、負極沒有硫酸鹽化問題、較輕的重量、較高的動力容量。其他成功的案例有：美國電力(AEP)開發出固定型Pb-C電池系統，主用於風能、太陽能的儲能和通信後備電源；新墨西哥州PNM公司建設的太陽能儲能項目於2011年9月正式併網，位於美國的阿爾伯克基國際太

陽港架設：500 kW太陽能發電、儲電系統採用500 kW高性能新型鉛酸電池，實現太陽能發電系統之電力穩定輸送。(2)鋰離子電池產業之發展可在多種方面，除已成熟的手機單顆電池、筆記型電腦多顆串聯電池及還在成長的3C電池外，未來在電動車、太陽能、風力發電、以及智慧電網背後的儲能電池上，都有不小的發展機會。因為不同領域的鋰離子電池使用之大小規格不一，故在比較電動車、太陽能、風力發電所需儲能電池用量時，可以由正極材料的消耗來作比較。根據日本資訊技術綜合研究所(IIT)的預測，到2015年時，全球的電動汽車約372.6萬輛，其中油電混合電動車(HEV)約227.9多萬輛，純電動車(EV)約114.7萬輛，插電式油電混合車(plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)則約30萬輛。鋰離子電池應用於PHEV的容量

可達15-20 kWh、EV可達50 kWh，預測工業級的鋰離子電池到2015年，最大總電量可達35 GWh。

根據勒克斯研究機構(Lux Research)的報告，鋰離子電池已成為電網存儲領域的主導技術，已經在全球許多示範性項目中得到應用，包括使用了80萬塊A123鋰離子電池的電池銀行，向紐約ISO (電力調度中心)或電網運營商提供電流穩定器的約翰遜城項目、位於中國錦州的國電電源側儲能項目(包括49.5 MW的風機容量和5 MW鋰離子電池系統)，以及智利Anagamos項目(此項目利用20兆瓦的A123鋰離子電池提供持續服務，以維持智利北部電網的穩定性)。2014年9月南網科研院儲能專案組順利完成將打造世界首個單機2 MW/10 kV的電網級鋰離子電池儲能系統。(3)液流電池以大規模、高效率、低成本、長壽命是液流儲能電池技術發展的主要方向。根據2011年歐洲「Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies」報告，規劃之未來液流電池(含全鈦、鋅-溴)的發展，並訂立2020~2030年間及2050年各階段預定達到之液流電池能量密度、操作溫度、系統循環壽命、儲能容量及功率總建置成本…等的目標如表3.3所列，可供

參考。

依目前國際儲能應用趨勢及專利分析結論，全鈦液流電池雖已有示範應用等實績，但距離技術成熟期預估仍需要8~10年之技術研發以配合裝置容量的擴增，國內確有能力可以發展此一技術做為產業化前哨。由目前已知的專利數量經分析後評估，國內仍有部分技術缺口可以發展和突破，未來可藉由所研發之獨特技術透過交互授權等多種不同模式創造雙贏利基。

國內研究單位也將優先著重於前瞻核心技術建立，聚焦於液流電池關鍵材料及技術研發，同時著重儲能系統與微電網整合技術之開發，積極布局從材料至系統之專利以建構完整之專利網絡，並積極尋求與國外著名之研發單位共同合作，以加強本國於儲能產業發展之優勢。

經濟部能源局於105年新及再生能源領域研發規劃報告書中指出，大型化學儲能電池需幾十甚至幾百萬瓦容量，因此首重電池成本低廉及安全性。液流電池大型化成本低廉，使用水溶液電解質沒有爆炸之疑慮。電池與電網併聯整合技術，可以進一步提升我國再生能源發電所佔比例。

表3.3 歐盟於液流電池儲能技術之發展與目標規劃

技術/材料	現在的性能	2020-2030目標	2050目標
氧化還原液流電池(鈦, 溴化鋅)	鈦系統10-20 Wh/kg ~ 15-25 Wh/L ; 10-20年(>10,000循環壽命) 10,+40°C 溴化鋅系50-60 Wh/kg ; >2,000圈之循環壽命 預計服務成本 (資本支出和營運支出) 10 c€/kWh 能量成本400 €/kWh 功率成本600 €/kWh	發展第二代鈦溴系統 20-40 Wh/kg 延長操作溫度範圍 (>100°C) 預計服務成本 (資本支出和營運支出) 7 c€/kWh 能量成本400 €/kWh 功率成本600 €/kWh	降低總系統成本 (資本支出和營運支出) 預計服務成本 (資本支出和營運支出) 3 c€/kWh 能量成本70 €/kWh 功率成本200 €/kWh

參考資料：Brussels, 2010

4. 結 論

在面臨石化能源漸漸短缺及溫室效應的警訊，因應“後京都議定書”二氧化碳排放量減量之時代來臨，臺灣在高度仰賴進口能源之現狀下，如何提升能源利用率、降低污染、提高新興替代能源使用比例、儲存電力、降低進口能源依賴，將是臺灣未來永續發展之關鍵，因此必須掌握國際動態趨勢，並以相對應的政策與法制建置因應此趨勢與發展，才能在國家永續發展前提下達到能源供給、經濟發展與環境保護多贏之目標。

儲能包含發電、輸電、配電和售電等電力系統環節，已經成為未來智慧電網的一個必要的組成部分但仍有幾個關鍵問題尚待解決。(1)經濟性難題：儲能成本居高不下，影響儲能大規模發展。目前多為示範性質的儲能工程，未來會出現推廣困難的經濟問題，其關鍵材料、製造工藝和能量轉化效率也是各種技術面臨的共同挑戰。(2)應用性難題：產品規模生產前之定型週期長。儲能在電力系統的應用時間短，目前尚未在電網系統大規模應用，而抽水蓄能也僅是試驗示範工程。電力行業對產品可靠性要求高，傳統上至少需要5年以上的實地可靠性測試和試用才能通過電力用戶的最低標準。(3)政策性難題：未出現主導環節，勢必導致利益分配不公。

大型儲能之選擇，將走向複合式組合

一般來說，大型儲能設備與再生能源的搭載相當密切，再生能源發電運行中，對於儲能設備，也有不同的功能需求。以風力發電來說，可以分為『啟動瞬間』及『恆時儲能』的需求。對『啟動瞬間』之需求而言，重視的是儲能設備的瞬間充放電以及較高的安全性；而『恆時儲能』的重點，則是穩定的儲存能源及較高的安全性要求。大型儲能電池詢價的過程中，發現整體單價的落差相當大，因此，可預期未來大型儲能於建置過程中，將會是以複合

方式的電池組合。

目前，瞬間充放電的效率，超級電容還是首選。但單價近兆瓦時/千萬(NT)的超級電容模組，使得在單一再生能源發電裝置中，僅會搭載一組。另外，三元正極材料的車用鋰離子電池，在其高效率表現下，也有機會應用於『啟動瞬間』的需求；而在『恆時儲能』方面，由於設置的限制、要求以及電池的能量表現，不若車用鋰離子電池苛刻，目前廠商傾向使用較便宜的電池種類，例如鉛酸電池、鎳氫電池等等。而鋰鐵電池，則希望在車用鋰電池帶動的規模經濟下，將單價壓低，以應用於大型儲能。因此未來之儲能系統發展應是電池儲能系統搭配超級電容之模組，電池提供儲能系統所需之儲能容量；而超級電容則管負載均衡平穩偶爾之電流波動。

臺灣須掌握國際新能源與儲能立法政策之趨勢發展

儲能技術已被視為電網運行過程中“發-輸-配-用”等環節重要的組成部分。電網系統引入儲能環節後，可以有效地實現需求側管理，消除晝夜間峰谷差，以平滑負荷。不僅可以更有效地利用電力設備，降低供電成本，還可以促進可再生能源的應用，也可作為提高電網運行之穩定性、調整頻率與補償負荷波動的一種手段。

由於電網儲能成本高，多由發展再生能源的各國政府主導再生能源搭配儲能的必要性及可行性評估，並由研發補助與法規修訂等方式發展電網儲能。例如：美國由能源署(Department of Energy, DOE)評選儲能相關開發技術與示範計畫，利用美國復甦與再投資法案(American Recovery and Reinvestment Act, ARRA)的資金，政策補助儲能相關技術發展，法規修訂以利儲能應用於電網。利用電廠、儲能業者及再生能源系統商三方合作，降低儲能技術開發成本，帶動美國儲能技術競爭及朝向電網最佳化發展。

儲能技術之應用必將在傳統的電力系統設計、規劃、調度及控制等方面帶來重大變革。綜觀世界各國已提出或正在實施之再生能源與電網級儲能政策或措施，皆以法律規範為手段，具體實現儲能與節能減碳的目標。由國外立法的成功經驗可知，唯有以法律形式訂立國家可再生能源與電網儲能之永續發展目標，再透過具體且明確的強制手段或經濟獎勵措施，就能得到實施後之成效。

臺灣可藉由營造有助於再生能源及儲能產業之發展環境，選擇具有潛力的儲能技術，提供研發補助及示範計畫實施，並利用法規修訂等措施，改善儲能應用電力市場的條件，來帶動再生能源與儲能技術發展，促進資本累積及新興產業發展與創造就業機會。隨著電網儲能效益凸顯與電力市場條件改善，電網儲能成本可望藉由規模經濟與技術改善進一步下降。電網儲能將帶動產業鏈上的電池材料商、設備商、製造商、系統整合商、電力業及再生能源相關產業快速成長。

簡而言之，再生能源與儲能產業發展透過種種的變數傳遞機制，可提升一個國家之總體經濟效率與競爭力。為鼓勵技術創新，因此有必要進行比較及研究國際新能源與儲能政策，選擇符合臺灣國情之政策模式制定相應的政策與法規，以建立完整的能源政策與法規體系。因此，就新興綠能及儲能產業之發展應做好政策規劃，並促進技術創新研發以及增加對相關產業投資之政策誘因。而藉由政策推動技術創新，達成節能減碳之目標，便需借鏡國際經驗模式，例如：信貸、稅賦優惠、環保與能源政策引導低碳經濟之發展。

參考文獻

- 王慧梅，2011.12，「尚普諮詢：超級電容迎來快速發展期」，中國經濟網。
- 中國儲能網，「超導磁儲能市場2015年將達3,900萬美元」，2011.09。
- 林良真、冉立業，2008，「超導電力技術，科技導報」，26(1): pp. 53-58。
- 吳欣欣，2011.11，「超導電力技術及其裝置的特點」，電纜網。
- Altair Nanotechnologies Inc. 2008, Website, <http://www.altairnano.com/>
- BCC Research, 2011, "Global Market for Supercapacitors to Be Worth \$1.2 Billion in 2015".
- Brad Roberts, 2011, "EAC 2011: Energy Storage Activities in the United States Electricity Grid", EAC.
- Brussels, 2010. "Energy 2020 - A Strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy", EUROPEAN COMMISSION, COM 639 final.
- Brussels, 2011, "Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies", EUROPEAN COMMISSION, SEC 1609 final.
- Daiwon Cho, Jianlu Zhang, John P. Lemmon, Jun Liu, Michael C. W. Kintner-Meyer, Xiaochuan Lu and Zhenguo Yang, 2011, "Electrochemical Energy Storage for Green Grids", Chem. Rev. 111 (5): 3577-613.
- Optimal Power Solutions, Energy Storage Considerations, Website, http://www.optimal-power-solutions.com/home/advanced_storage.html
- Industry Information Station, 2011, "Ultracapacitor Technologies Progress Rapidly or will Replace Lithium-Ion Battery".
- Maria van der Hoeven, 2014, "Technology Roadmap-Energy storage, International Energy Agency". Website, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergystorage.pdf>
- Nair, Nirmal-Kumar C., 2010, "Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration", Energy and

- Buildings, 42: 2124-2130.
- Rastler, D., 2010, "Electricity Energy Storage Technology Options, A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits", Electric Power Research Institute (EPRI), 1020676.
- SBC Energy Institute, 2013, "Bloomberg New Energy Finance Database Extracted on 12th April 2013", The Future of Energy Storage Technologies and Policy.
- SET-Plan 2011, "2011 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan ", JRC Scientific and Technical Reports.
- Toshikazu Shibata, Takahiro Kumamoto, Yoshiyuki Nagaoka, Kazunori Kawase and Keiji Yano, 2013, "Redox Flow Batteries for the Stable Supply of Renewable Energy", SEI TECHNICAL REVIEW. (76)14-22.
- Tsukamoto, O., 2008, "Overview of superconductivity in Japan – Strategy road map and R&D status", Physica C, 468: 1101-1111.

The Current Development and R&D of Energy Storage Technologies

Yu-Chang Liu^{1*} Yu-Zhen Zeng² Yung-Fang Lu¹
Chin-Chang Shen³ Jen-Chieh Chung⁴

ABSTRACT

Energy is indispensable elements for economic development and civilian. Taiwan is relies heavily on imported energy resources. Therefore, developing self-independent renewable energy resources will be the primary focus for Taiwan. For some renewable energy sources, such as solar energy and wind energy, the applications are limited by weather conditions. With the increasing proportion of renewable energy sources in the grid, the instability and intermittency of renewable sources causing unstable energy supply are underscored. Introducing energy storage systems into electric grid will enhance the demand-side manage efficiency and eliminate the difference between peak and valley due to electric power consumption variation in days and nights. The energy storage system provides efficient utilization of the electric equipment, enhances the cost reduction in power supply, and promotes the applications of renewable energy sources. It also can be considered as a means of improving overall power quality and reliability, adjusting frequency and compensating for load fluctuations. This paper is focused on the development and market profile of energy storage technologies on current status. Applicable overview, international energy storage installation costs and system prices, R&D focus and planning of all energy storage technologies are also introduced in this article. We hope that this paper will be a reference to the related units for the future energy storage industry in Taiwan. The government has to create an environment which is beneficial to the development of renewable energy and grid energy storage system with technical guidance and industrial encouragement. The ultimate goals for the above-mentioned issues are to improve the capital accumulation, the development of new industries and the increasing employment opportunities. This is eventually beneficial to the economic growth in Taiwan.

Keywords: Renewable energy, Smart grid, Energy storage, Pumped hydro energy storage, Compressed air energy storage

¹ Associate Engineer, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council

² Assistant Engineer, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council

³ Associate Research Fellow, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council

⁴ Senior Research Fellow, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council

* Corresponding Author, Phone: +886-3-4711400 ext. 5604, E-mail: Eddyliu@iner.gov.tw

Received Date: November 25, 2014

Revised Date: March 13, 2015

Accepted Date: April 15, 2015