

出國報告（出國類別：實習）

儲能自動頻率控制(AFC)之儲能系統規劃

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：駱明麟主辦工程管理專員

派赴國家/地區：英國、荷蘭

出國期間：108年11月30日至12月13日

報告日期：109年2月17日

摘要

依修正再生能源發展條例第六條中央主管機關得考量國內再生能源開發潛力、對國內經濟及電力供應穩定之影響，訂定未來二年及中華民國一百十四年再生能源推廣目標、各類別再生能源所占比率及其發展計畫與方案並公告之，另規劃一百十四年再生能源發電設備推廣目標總量達二千七百萬瓩以上。為配合上述國家再生能源發電佔比提高之政策，台電公司目前已積極進行離岸風力，與太陽能電廠。

因此，為因應政策，其中離岸風力一期計畫之裝置容量為 110 MW，預計於 109 年商轉；離岸二期之裝置容量約 300 MW，預計於 114 年商轉；太陽能部分本單位亦已於彰化興建 100MW 的太陽能系統，緊接在台南地區興建 150MW 的太陽能系統。但因再生能源易受環境影響發電量，故具有供電不穩定性的特色，若再生能源電力占比過高，勢必影響電力調度，因此，公司正研擬儲能自動頻率控制(AFC)調頻及低頻卸載快速反應(FRR)等相關輔助服務。

所以為維持供電品質，發展儲能系統確有其必要，且再生能源處具備再生能源開發業者的角色，若可依 AFC 的架構下，建立儲能系統，除可提供穩定且可預測性的電力，亦可依 AFC 制度增加收入。

本次派赴出國主要前往 DNV GL 英國與荷蘭有關儲能及電池實驗室，了解有關儲能系統規劃建置與應用實務經驗。

目次

壹、	目的	1
貳、	過程	1
一、	行程概要	1
二、	DNV GL 公司簡介	3
參、	儲能系統	7
一、	能源概況	7
二、	相關政策與規範	10
三、	儲能系統	12
四、	儲能系統種類	14
1.	電子儲能系統	14
2.	電化學儲能系統	15
3.	機械儲能系統	17
五、	儲能系統使用範疇	21
六、	再生能源與儲能系統整合應用	22
七、	儲能系統運維及安全措施	23
1.	並聯電網	24
2.	微電網	24
3.	運維措施	24
4.	安全措施	25
肆、	心得及建議	26

壹、 目的

我國近年來為配合國際減少溫室氣體排放、減核之趨勢，已訂定能源轉型政策，將大幅提高再生能源發電佔比，其中依再生能源發展條例規劃一百十四年再生能源發電設備推廣目標總量達二千七百萬瓩以上，本單位配合相關政策亦已於彰化興建 100MW 的太陽能系統。

但因再生能源發電系統極易受環境影響，故具有供電不穩定性的特色。因此，當再生能源發電佔比過高時，勢必影響電力供應，因此，或可參考國外經驗增加發電機組、輔助服務以提高電力備載與供應品質。

其中，輔助服務是屬於一種短時間的備轉容量，其目的在於藉由即時的電力調度以維持電力系統的穩定。而在不同的電力需求下，由於電網、結構、負載的不同，因此，所需要的輔助服務種類和量體也不同。其中，輔助服務則包含快速反應備轉容量、調頻備轉容量、即時備轉容量、補充備轉容量與全黑啟動等項目。

目前電業法或相關之併聯技術要點尚未明確規範與要求再生能源系統的發電穩定性，但作為國營事業，除成本考量外，亦應做為示範、配合政策逐步而踏實地興建再生能源發電系統，以 108 年完成的彰濱 100MW 為例，則是目前台灣單一場址最大裝置容量之太陽光電系統，緊接興建台南鹽田 150MW 太陽光電系統，後續亦將規劃儲能設施，作為後續發展的參考。

綜觀上述，本單位發展儲能系統確有其必要。且依輔助服務的架構下，建立儲能系統，除可提供穩定的電力，若可依 AFC 制度參與服務將可增加收入。本案期望藉由汲取國際著名公司經驗來提升本公司規劃、建置儲能系統所需相關知識與能力，以提高建置儲能系統可行性。

貳、 過程

一、 行程概要

本次出國主要參訪 DNV GL 公司位於英國倫敦、荷蘭阿納姆(Arnhem)的儲能系統與電池實驗室討論儲能系統規劃設計技術、並參訪儲能整合系統商 ALFEN 公司，藉以了解儲能系統從初始設計至運維階段整體生命週期（表-1、圖-1）。

表-1 行程概要

日期	行程摘述
108/11/30 108/12/01	去程：台北→英國倫敦
108/12/02 108/12/04	於 DNV GL 公司英國倫敦辦公室，進行儲能系統規劃設計技術研討。
108/12/05 108/12/07	於 DNV GL 公司荷蘭阿納姆辦公室與 ALFEN 儲能系統整合商，針對儲能系統設備驗證、實驗進行技術研討。
108/12/08 108/12/11	於 DNV GL 公司英國倫敦辦公室，進行儲能系統運維及風險評估等，並總結此次行程。
108/12/20 108/12/21	返程：英國倫敦→台北



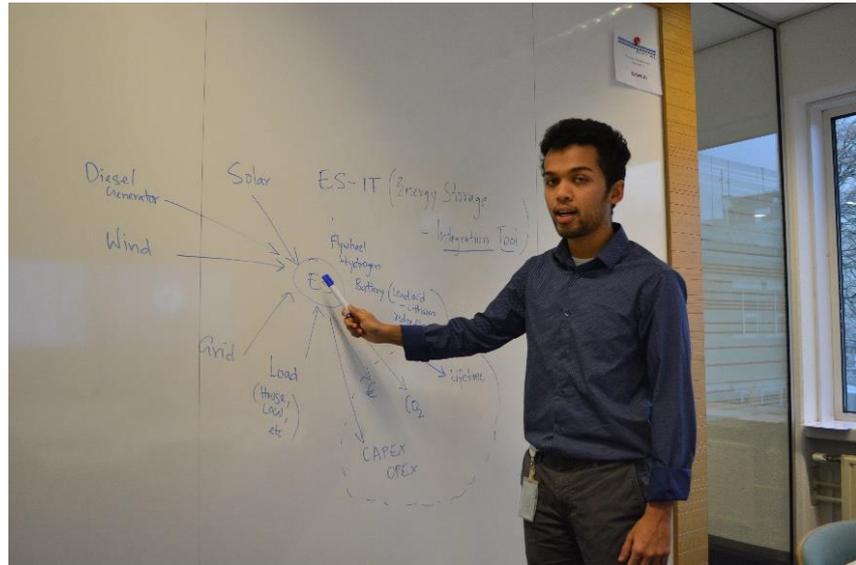


圖- 1 參訪 DNV 、ALFEN 與設計軟體說明

二、 DNV GL 公司簡介

DNV GL 是一國際性第三方獨立驗證與顧問公司，其業務範圍包含能源、海事、石化業、軟體等，分布於 100 多國家，350 以上辦公室，1 萬 5 千名以上員工，服務各專業領域共 8 萬以上的客戶(圖- 2)。



圖- 2 DNV GL 全球據點

針對儲能系統，DNV GL 專業服務包含三大項目 1、專案分析，2、系統執行評估，3、技術支援。分別簡述如下：

- 專案分析

內容包含相關技術與市場分析、技術可行性評估、模型建立、最佳化設計。

- 系統運轉評估

內容包含風險評估、失效評估、製造商評估、檢試驗計畫、品質計畫及探討相關技術標準。

- 技術支援

內容包含貸款能力評估、商轉技術支援、移交測試、技術評估等事項。

其中，位於荷蘭 Arnheim 的電池實驗室(圖- 3)，主要提供檢測儲能系統特性、儲能系統技術評估、建立儲能模型、應用及功能測試、第三方驗證、技術規範審查、整合需求、儲能系統生命週期、失效分析、併網測試及建立模型。

其電池實驗室主要設備如下：

- 8 channel 5V/5A (prototype) cell testing
- 4 channel 60V/50A cell/module testing
- 1 channel 100V/400A module testing
- System level incl. power converters(up to 10kV, up to 3 MVA)
- Stand alone, mobile (EV), and grid-connected systems
- Climate chambers (testing at fixed temperature & humidities)



圖- 3 DNV GL 電池試驗示意圖

DNV GL 於 2019 亞太地區曾參與的重要專案如下表(表-2)：

表-2 2019 年 DNV GL 亞太地區重要專案

項次	客戶	地點	專案名稱	主要內容
1	機密	Korea	BESS Fire Investigation	針對電池材料全面性、分析及損壞的原因

項次	客戶	地點	專案名稱	主要內容
2	機密	Thailand	Transmission Deferral with ESS	針對 SAMUI 島提供建置 ESS 技術服務與協助招標
3	International Investor	Hokkaido, Japan	Wind Farm in Hokkaido with BESS (120MWh)	提供獨立審查建議及完 整分析技術與財務狀況 以作為投資參考資訊
4	機密	Inchon, Korea	Technical Due Diligence for BESS Acquisition	提供 210MWh 儲能系統 之技術與風險評估
5	SUWECO Philippines	Romblon (Tablas), Philippines	Romblon 7.5 MW Microgrid (PV + ESS + Diesel)	建立 PV/儲能/柴油系 統，促使 Romblon 可以減 少柴油使用與提供穩定 電力
6	機密	Luzon, Philippines	Feasibility for Frequency Reg in the Philippines	提供 ESS 投資者技術與財 務分析，並建議 National Grid Corporation of the Philippines 調頻服務的相 關規範建議
7	US Investor	Ningde, China	CATL Technology Bankability Assessment	評估 ESS 的 CATL 電池的技 術風險 評估在美國的貸款能力。 減少信息不對稱
8	Tianjin Lishen Battery Joint-Stock Co. Ltd	Tianjin, China	Lishen Technology Bankability Assessment	BESS 鋰電池的技術風險 評估 風險評估：安全性，可靠 性，功能性和質量。

參、 儲能系統

一、 能源概況

依照英國石油公司資料，根據煤礦、天然氣、石油等現階段主要能源的已知礦場存量與年產量、消耗量計算，預估煤礦約 114 年耗竭、天然氣約 52.8 年耗竭、石油約 50.7 年耗竭(圖- 4)。

Years of fossil fuel reserves left

Years of global coal, oil and natural gas left, reported as the reserves-to-product (R/P) ratio which measures the number of years of production left based on known reserves and annual production levels in 2015. Note that these values can change with time based on the discovery of new reserves, and changes in annual production

Our World
in Data

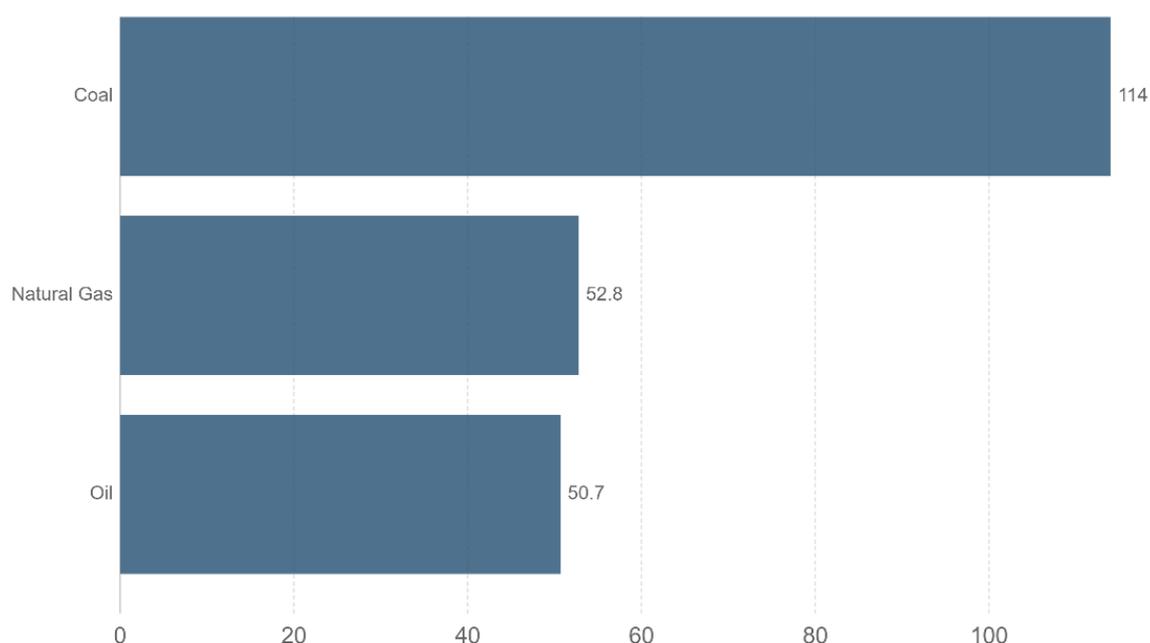


圖- 4 英國石油公司能源預測

而能源轉型的相關配套措施與政策，並非一蹴可及，因此，在未來 30 年內勢必需要建置新能源的基礎建設與相關配套，而依照目前科技且就人類有限壽命而言，源自太陽的能量可視為再生能源，且源自太陽能量之供給量遠大於目前人類社會活動所需消耗的能源(圖-5)。

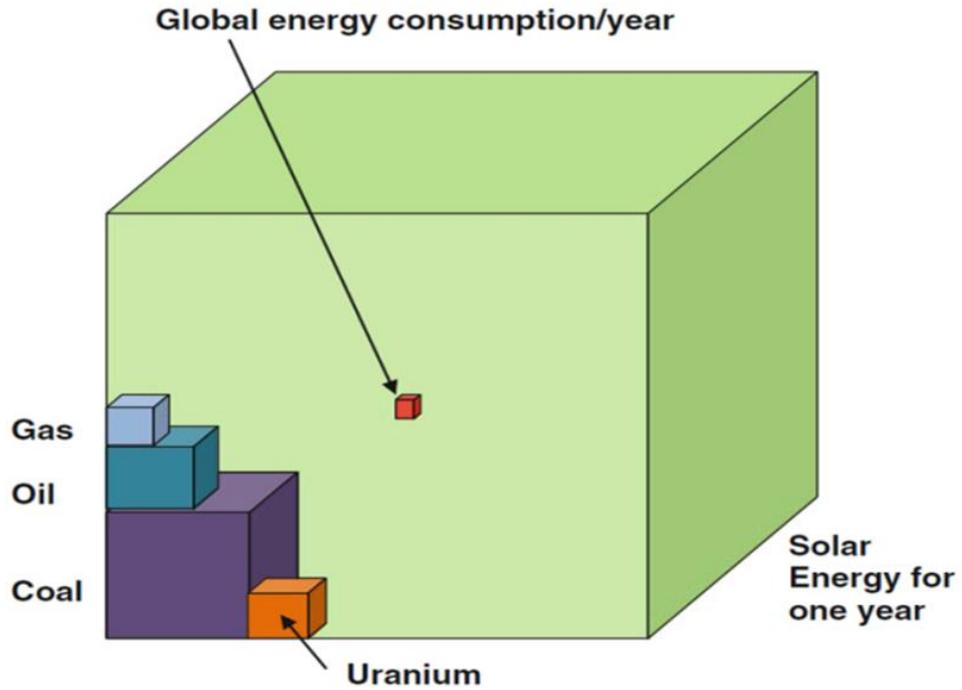


圖-5 主要能源礦藏與太陽能源比較圖

此外，依 Bloomberg 一篇文章中所述(圖- 6)，預估再生能源將持續發展，且已於 108 年 4 月，再生能源首次為美國的電網提供比煤炭更多的電力，這是迄今為止最清楚的信號，說明了再生能源(太陽能 and 風能)現在已經可以與石化燃料並駕齊驅。且在世界三分之二的地區，再生能源已成為最便宜的電力供應源。基於上述原因，預估未來將於 2037 年全球再生能源供應佔比將達 50%，且持續成長。

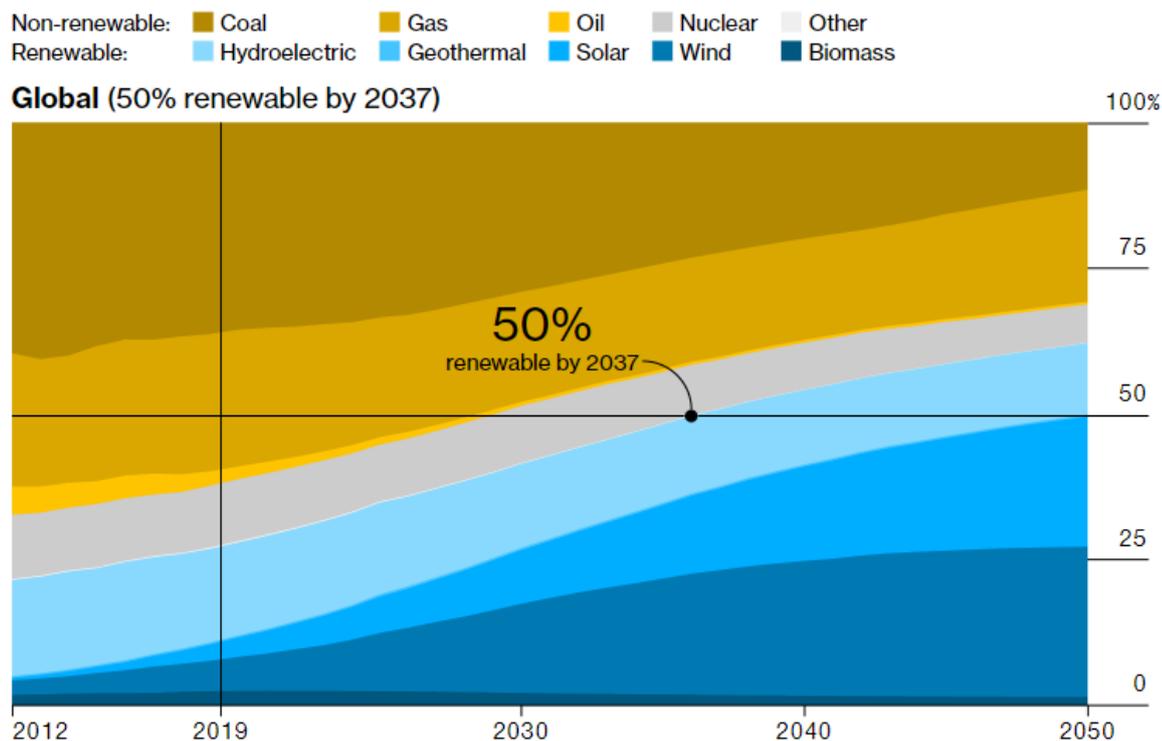


圖- 6 Bloomberg 預估未來能源發展

另依據我國經濟部能源局針對未來能源發展，於 107 年推出能源轉型白皮書重點推動方案，其再生能源總體規畫目標如下(表-3)：

表-3 經濟部能源局未來能源發展目標

類別	年度	105 年	106 年	107 年	109 年	114 年
		(2016)	(2017)	(2018)	(2020)	(2025)
太陽光電		1,210	1,431	3,000	6,500	20,000
風力	陸域	682	692	737	817	1,200
	離岸			16	520	3,000
地熱能		0	0	1	150	200
生質能及廢棄物		727	727	728	768	813
水力		2,089	2,089	2,089	2,100	2,150
燃料電池		--	--	2	22.5	60
合計		4,708	4,939	5,471	10,875	27,423

單位:MW

即在新能源政策發展方向上，我國將全力擴大建設再生能源，目標訂於 2025 年再生能源占比達 20% 以上。然而由於再生能源具有不穩定性而無法調度的特性，故勢必對電網之電力品質造成一定程度的影響，於是需藉由儲能系統提高電力的品質。因此，政府亦務實規劃能源轉型政策措施，其中包含加速布局儲能，強化電網穩定度。以下將針對相關規範與儲能設備逕行說明。

二、 相關政策與規範

歐盟已思考到歐洲的供電型態混和了各式資源，其中包含越來越多的再生能源，交互並聯以及跨界競爭等實際狀況。因此，為促使電力系統品質穩定並奠定穩定供應電力的基礎而設定了諸項規範，以明確訂定電力相關業者之分工與責任。例如，電網運營商應具有維持區域電力品質的法律義務。

相關規範如《Network Code on System Operation 系統運作網絡規則》第 3(2)(7) 條，“frequency restoration reserves 頻率恢復儲備”或“FRR”等相關規範。

傳輸系統運營商（'TSO'），配電系統運營商（'DSO'）和重要的電網用戶（'SGU'）制定統一的系統運作規則，以便為系統運作提供清晰的法律框架，並促進聯盟範圍內的電力貿易，確保系統安全，確保 TSO 之間以及 TSO 與所有其他利益相關者之間必要的數據和信息的可用性和交換，促進再生能源的整合，促使更有效地使用電網並增加對再生能源的競爭力與消費者的利益。

基於上述，經濟部能源局借鏡國際趨勢，以電網與儲能技術為推動目標，短中長期目標如下：

- 短期以區域示範驗證為主

主要以投入區域性儲能示範驗證開發，帶動國內儲能產業發展，建立區域儲能系統實績；

- 中長期(2025 年以後)，以降低較大規模再生能源設置對電力系統影響為目標

針對較大規模再生能源併網議題，可透過強健電網、增設快速反應機組、調整調度策略、增建抽蓄水力電廠或增加調度頻率、設置化學儲能設施等不同方式處理。

依再生能源推動配套方案，考量儲能設置需要額外成本與空間，因此並非所有再生能源案場都需安裝，未來較有可能設置場所在於較大風場或太陽光電場或微電網區域設置儲能系統。相關儲能量預估需求，仍需配合電網狀況及國際儲能電池價格滾動式檢討。相關儲能設置應選擇(1)有設置空間；(2)大型再生能源案場等。

而為達成我國設定 2025 年再生能源裝置容量將達 27GW、再生能源發電佔比達 20%之政策目標。使得電力系統不可避免的將面對快速變動、穩定性與可靠度議題。

且為符合電業法第 9 條：為確保電力系統之供電安全及穩定，輸配電業應依調度需求及發電業、自用發電設備之申請，提供必要之輔助服務。及電力調度原則綱要第 14 條：輔助服務項目，至少應包含調頻備轉容量、即時備轉容量、補充備轉容量、全黑啟動、無效電力及電壓調整。

為因應上述議題，且符合電業法開放多樣化資源作為輔助服務來源之規定，台電公司規劃引進新興技術資源，以達成穩定供電責任。並為因應再生能源推動，台電亦已啟動「再生能源十年輸配電規劃」，將透過擴建輸配電設備及線路容量，提供足夠併網容量及環境。

主要有兩大儲能措施：自動頻率控制(Automatic Frequency Control, AFC)調頻服務，快速反應負載資源(Fast Response Resource, FRR)輔助服務。

- 快速反應負載資源輔助服務

為一具備單向系統頻率提升(Regulation Up)能力之輔助服務資源，當面對系統頻率過低時，藉由用戶負載快速切離，將可避免系統頻率持續下降。

- 儲能自動頻率控制調頻服務

主要在運用儲能快速充放電之優勢，使儲能設備追隨電力系統之負載波動，主動調整充放電動作，以維持系統頻率穩定，極適宜作為再生能源高佔比下之系統穩定因應方案，且國際間亦已有諸多採行案例。

三、 儲能系統

電能儲存系統(Electrical Energy storage , EES 簡稱儲能系統)可將電能轉換為不同能量加以儲存，反之亦然。然而儲能系統是由眾多次系統所構成，所有這些次系統對於儲能系統的運作至關重要。儘管各式儲能技術之間存在差異，但都可藉由示意圖(圖-7)說明各儲能系統。

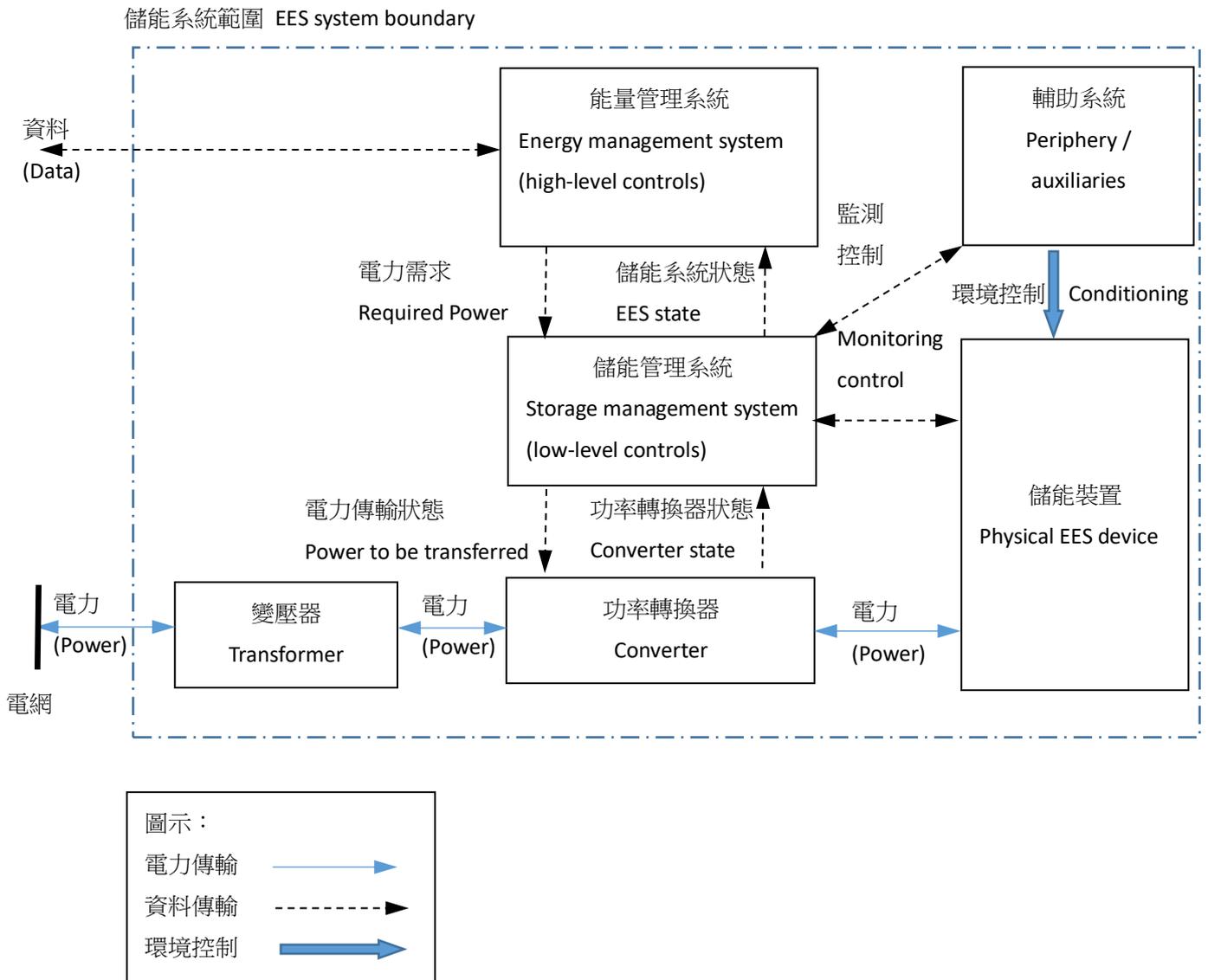


圖-7 儲能系統基本架構

儲能系統的核心是能量儲存系統本身，即能量轉換與儲存的過程與設備。於大多數實際應用中，此能量轉換與儲存的過程依賴電氣設備(例如：電容器)，電化學(例如：鋰電池)或機械(例如：飛輪、壓縮空氣)的運轉；在許多與電網

併聯的儲能系統案例中，需要在電網與儲能系統間裝置功率轉換器(變流器)；這可以是單個轉換器或分佈式轉換系統；另外，亦可藉由電動發電機直接連接至電網或利用變頻裝置串接電動發電機與儲能系統。為能使系統能有較佳的運轉效率，尚需其他如通風、空調設備、防火設備等輔助系統；為符合電網電壓需設置變壓器，通常存在於電網和 EES 系統之間。

物理能量存儲的狀態則由監測系統中的低階監控元件(Low Level Controls，即儲存管理系統)進行監視和控制。主要從物理存儲設備中讀取所有相關數據；例如，電池、LIC、電壓、電流和溫度，飛輪的轉速、溫度等，以確保系統正在其工作範圍內工作，並檢查所需求的電力是否為當前系統狀態的操作範圍內。

EES 系統的高階監控元件(能源管理系統，EMS)決定了儲能系統之功能。其主要作用在於確定何時以及以什麼速率對儲能系統進行充電，閒置或放電。其操作的決策則可以藉由現場端(以最小的響應時間毫秒或更快)測量的數據(例如電流，電壓，功率，頻率)，或遠端管理系統藉由數位化協議協議(DNP3，modbus 等)連接的能源管理系統。

圖-7 是基本功能圖，某些組件(例如保護和安全組件)沒有被繪製。系統亦可能不存在變壓器，特別是對於較小的系統。根據能量存儲系統的物理工作原理，部分類型需要幾個輔助設備來維持系統運作。包括冷卻系統(多種存儲技術)到液體泵(液流電池)或真空泵(飛輪)。因此，儲能系統的系統邊界應包括運作所需的所有組件。這對於計算 EES 系統的損失尤為重要。

四、 儲能系統種類

現已發展出多種儲能技術，以其運作原理，主要適用於併網的技術可分為電子、電化學、機械等三大系統類型，簡要說明如下(表-4)。

表-4 儲能技術類別

類型	電子類	電化學類	機械類
實例	電容(Capacitor) 超級電容 (supercapacitor) 鋰離子電池(Li-ion capacitor)	Room-temperature battery Lead acid Copper zinc(CuZn)	位能儲能系統 (Potential energy in storage medium) Pumped hydro Compressed air Liquid air
	超級電感 (Superconductor) 超級電感磁性儲能 (Superconducting magnetic energy storage SMES)	High-temperature battery Sodium-sulphur Sodium-nikel chloride	動能儲能系統 (Kinetic energy in storage medium) 飛輪
		Redox flow battery Zinc-bromine All-vanadium Polysulfide-bromide	

1. 電子儲能系統

電子儲能系統的運作原理是藉由電容器在帶正電荷和帶負電荷的極板之間的電場中存儲電能。兩個極板是平行的，並由絕緣體即電介質隔開。累積能量時，板上的電荷會累積即所謂充電。發電時相當於將極板放電。

電子儲能系統的架構圖(圖-8)如下：

儲能系統範圍 EES system boundary

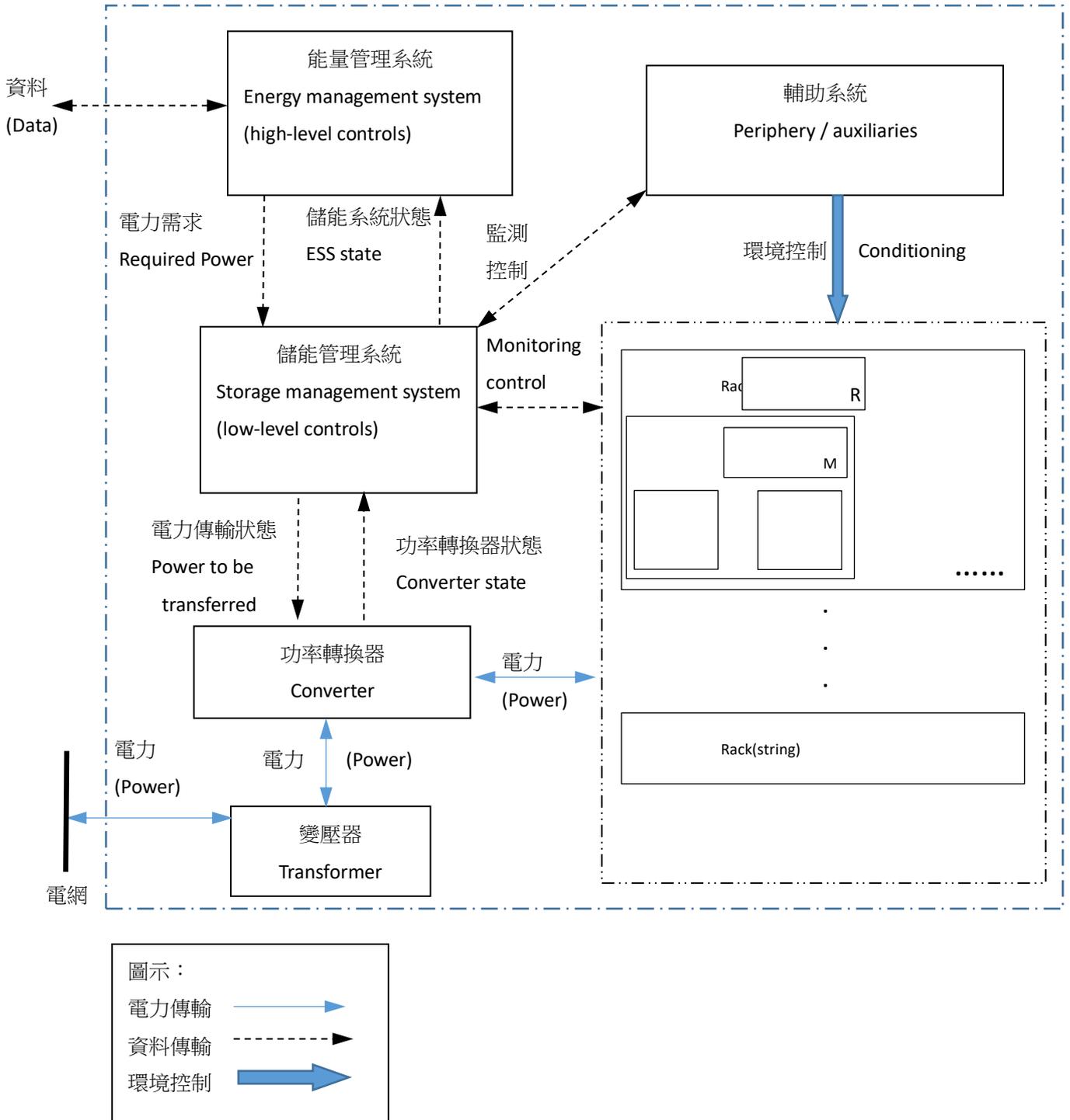


圖-9 電化學儲能系統基本架構

3. 機械儲能系統

機械儲能系統的儲能設備核心，是藉由物理中的轉動慣性、相態變化、位能變化等運作原理完成充放電動作。簡述如下：

- 飛輪(轉動慣性)

飛輪(圖-10)是動能存儲系統 (KEES) 的最主要案例。它以轉子的旋轉動能儲存能量。轉子在充電期間由充當電動機的電機加速旋轉，並且在由充當發電機的同—電機提取能量時 (放電模式) 使轉子減速。為了減少旋轉過程中的摩擦損失，通常轉子在真空中旋轉，並且使用磁性軸承將轉子固定在適當的位置。飛輪動能存儲系統可以存儲的能量與轉子質量成比例，轉速的平方和轉子半徑的平方。額定功率則由電動機/發電機決定。飛輪需要外部動力來維持其旋轉速度，空轉過程因摩擦現象將損耗能量，導致較高的自放電率。自放電率主要受軸承與真空技術的影響。

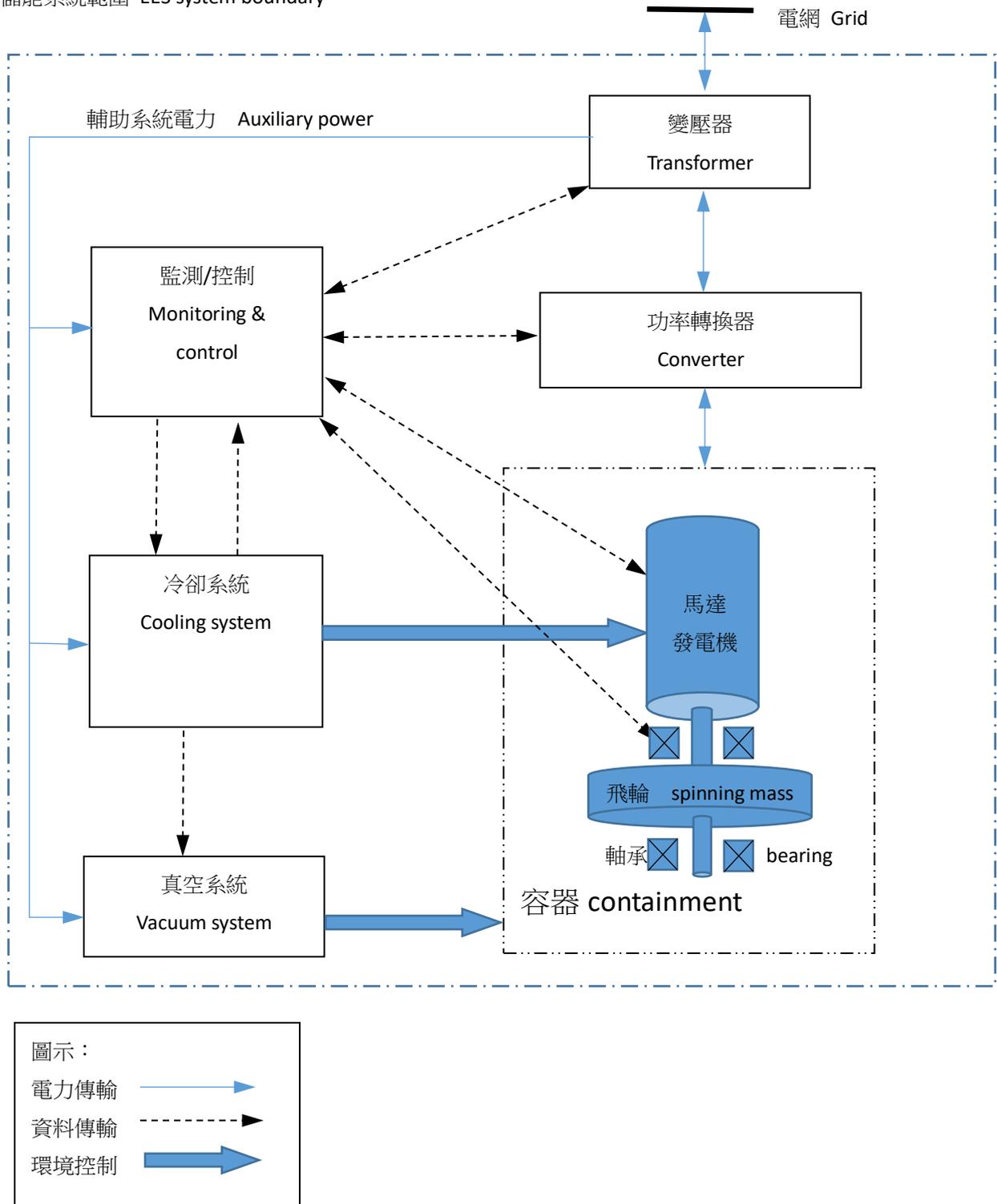


圖- 10 機械儲能系統-飛輪-基本架構

- 抽水蓄能(位能變化)

抽水蓄能簡稱抽蓄（PHS）即將水從較低的盆地泵入較高的盆地，藉由水資源的位能差，作為運作原理。抽蓄系統與普通水力發電廠相同的方式通過水輪機發電。最大發電量取決於從上部到下部儲水區塊的最大水流量以及兩個儲水區塊之間的高度差（即揚程）。可以存儲的電量取決於水庫容量的大小。抽蓄系統的循環效率約為 70-85%，這些損失是由於泵送，發電和水蒸發等損失而引起的。

- 液態空氣能量儲存(相態變化)

液態空氣能量儲存(LAES,圖-11)是藉由將空氣液化到儲罐中以存儲能量，並通過使液化空氣在渦輪機中膨脹來發電。冷藏至 -196°C 時，空氣會變成液體，並且可以儲存在標準的絕緣容器中，既可以加壓也可以不加壓。暴露在高於液態空氣沸點的環境溫度下會引起再氣化和體積膨脹，用於驅動渦輪並發電。優化的 LAES 還包括一個熱/冷儲槽系統。LAES 系統可以與外部廢熱和冷源集成。該系統較無地理限制。系統結構的主要組成部分：一個或多個空氣液化器；一個或多個液態空氣（低溫）儲罐以及熱儲槽和冷儲槽；一台或多台膨脹渦輪機/發電機（即動力回收裝置）。

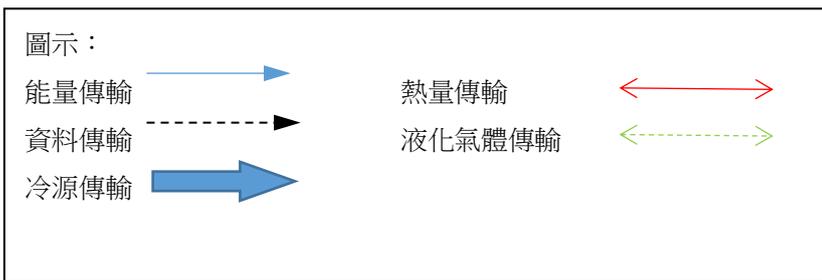
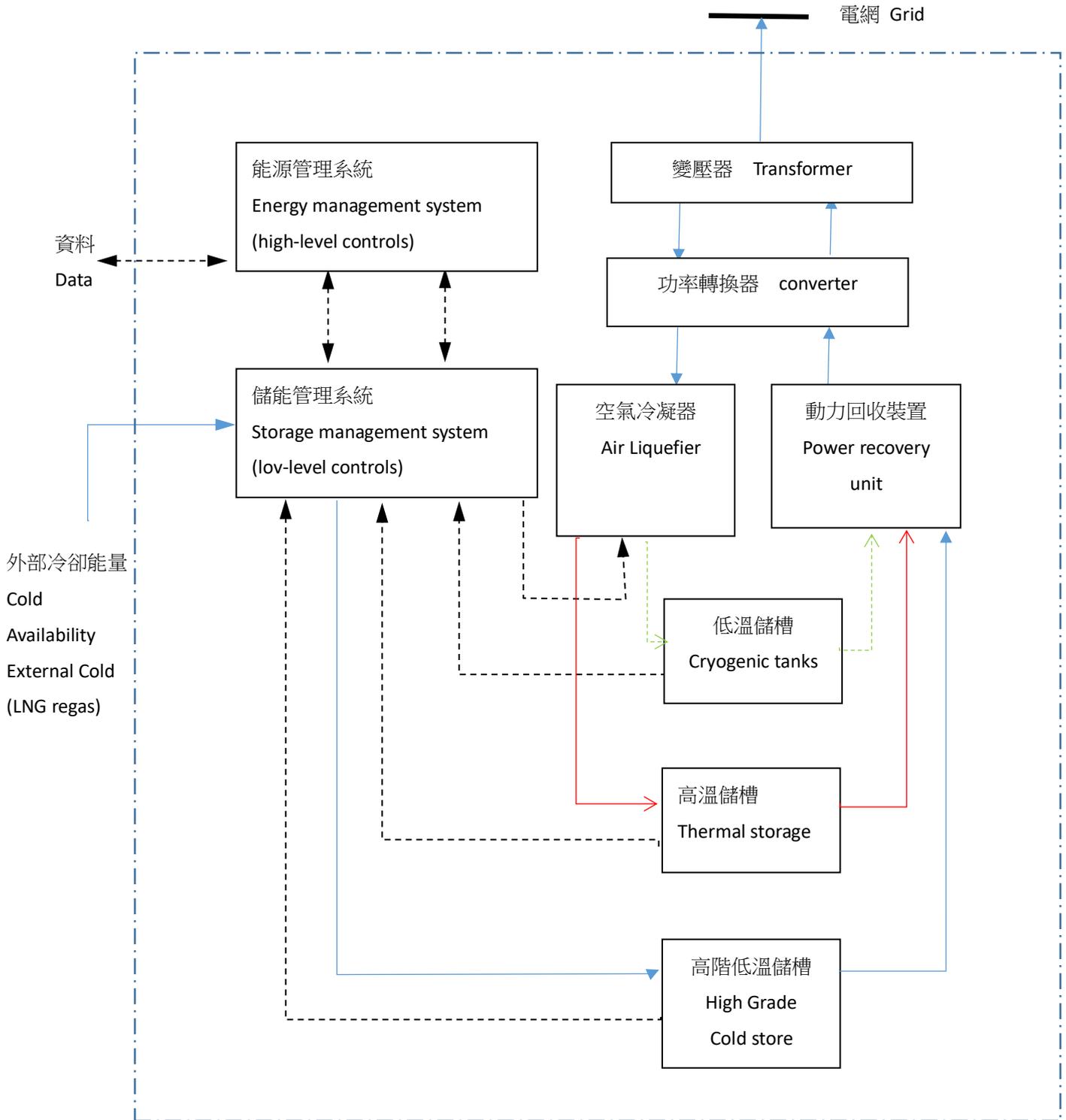


圖- 11 機械儲能系統-液態空氣-基本架構

五、 儲能系統使用範疇

EES 系統可以同時或為幾個不同的應用範疇提供服務，從而提高 EES 系統的獲利能力。主要範疇如下：

- 支援大電力(Bulk energy services)

即藉由大型儲能系統以穩定系統供應，例如：電力時間移轉(Electrical energy time-shift)，儲能業者則藉由儲能系統充放電功能，於電價便宜時段進行充電，於電價高昂時放電。

- 充當電力備載容量(Power supply capacity)

因儲能系統可於用電離峰時衝電而尖峰時放電，故可減少或減緩購買大型集中式電場的需求。

- 穩定負載(Load following)

藉由儲能系統充放電，以彌補負載的變化進而以穩定電力網。一般而言，負載變化應穩定或依一定比例緩步變化，或調和控制區域內需求和發電之間的瞬時差異。而一般傳統集中式發電廠不適合快速反應，因此，具有快速響應特性的 EES 系統則適合在運用在此情況。

- 調頻服務(Frequency response)

當電網因負載端或發電端突然發生波動而造成頻率不穩定時，可用大型儲能設備抵消這種頻率變化。這意味著當頻率降低（或分別升高）時，它們會動態地提高（或降低）其功率。

- 備載容量 (Operating reserves)

充當備用容量，即與電網連接並同步的備用發電容量，可以響應以補償發電或輸電中斷。

- 全黑啟動 (Black start)

用以因應當發電廠或電網發生故障，使能源中斷時，儲能系統可做為緊急啟動電源。

- 能源管理服務(Customer energy management services)

當電網瞬間發生電壓、頻率等擾動、不平穩的現象，這可能會對現場較敏感的設備造成危害。則可藉由 EES 吸收這些干擾，從而提供使用者更好的電能質量。

- 提升微電網可靠性(Power reliability in microgrid operation)

微電網具有兩種不同的運作模式：並行模式（微電網資源與主電網並行運作時）和孤島模式。在並行運作狀況下，微電網中的 EES 系統可以提高本地資源的效率，減少從主電網的進口，並實現再生能源整合。

在孤島模式操作下，EES 可以通過有功和無功功率控制來維持孤島微電網的頻率和電壓，從而發揮電網形成資源的作用。這可以在同步控制模式下執行，或者，在頻率下降時，EES 可提供穩定的電力支援，這樣，應用於標稱有功功率輸出，並根據電源系統頻率來調整儲能系統的輸出。

- 再生能源使用極大化(Renewable power consumption maximize)

目前 EES 系統可用於平衡當地用電需求和發電量。然而，在該應用中，EES 用於最大化地使用再生能源發電系統所產生的電力，因此，可最大化建置再生能源。進行此應用的主要原因為減少 CO2 排放，增加自給自足或大量節省微電網中的燃料。

六、 再生能源與儲能系統整合應用

目前風能和太陽能等再生能源設備數量正在持續增加。而且這些再生能源的電力具有間歇性、不穩定性，可能會造成電力系統的電網擁擠以及電壓和頻率不穩定。EES 可抵消或彌補再生能源的間歇性或其對電力網的影響。其相對應的做法如下。

- 結合再生能源和 EES 以調整電力供應時段：

在能源管理中，藉由運作 EES 並在能源售價較高時將其放電(在高峰時段)可以提高 EES 系統和/或再生能源的投資回報率資源。這也與“需求收費管理”和“再生能源使用極大化”相關聯。

- 在電壓輔助或電能質量輔助下運作的再生能源和 EES：

當這些再生能源的輸出直接取決於當地的天氣情況，可能造成的供電不穩定狀態，則 EES 可以提供服務以改善再生能源的供電電壓和電力品質。

- 再生能源和 EES 提供緩解傳輸擁堵或延遲傳輸升級的功能：

對於額外容量的再生能源，EES 可以藉由充放電的功能，解決傳輸系統阻塞或減少再生能源發電，或延緩輸電網容量增加。

- 穩定供電

針對供電系統而言，大型再生能源發電（尤其是太陽能 and 風能）並聯的挑戰是再生能源的輸出可能在短時間內（亞秒級到幾分鐘）快速變化。而太陽能光電系統和風力渦輪機等再生能源的輸出直接取決於當地天氣狀況，因此具有快速變化即不可確定性。EES 與再生能源系統結合可以提供更穩定的能源輸出，從而提高了向電網提供再生能源的可預測性，即穩定供電，又為斜坡率控制 Ramp rate control。

- 削峰填谷

再生能源發電量須依當地天氣狀況而定，為防止生產過剩、系統失衡或過度生產等狀況，因此需調整再生能源發電量，但如果調整再生能源發電量意味著降低輸出功率，這意味著浪費能源，這是不希望的情況。因此，通過使用 EES 系統在調整再生能源發電量期間儲存能量，並在用電需求期間再次釋放能量。此應用類似於“電能時移”，但其目的是不同。

- 設備容量恆定

在許多情況下，發電系統最好是具有可預測性、發電源為恆定輸出功率。而再生能源具有不確定性，因此，可藉由 EES 通過充電、放電使輸出穩定。該應用程序稱為“產能恆定”。這導致組合式再生能源系統 + 儲存系統的輸出功率在一定時間段內（通常為幾個小時）恆定。

七、 儲能系統運維及安全措施

EES 因為大量使用了高能量密度的材料，所以系統存有安全風險。此外，這些存儲系統可能位於住宅區或鄰近重要發電、公用設備，因此，須確保 EES 技術的安全性和可靠性。建議應於合約明定責任方的責任與義務。

1. 並聯電網

EES 系統可以併聯到低壓，中壓或高壓電網。電網併聯應根據地方法規及電網運營商所要求的相關規範（例如，EU Transmission Code 2007 或 EU Distribution Code 2007），以及根據電網運營商與 EES 系統用戶之間的協議。

通常會要求 EES 併聯電網應滿足以下參數範圍內，但這些參數可能因地區而異，並受適用的電網代碼和/或公用事業互連規範的約束（對於歐洲，可以在 EN 50160 中找到有關正常條件的更多詳細信息。）。)

- 電壓：標稱值 $\pm 10\%$ （例如）
- 頻率：標稱值 ± 1 Hz（例如）
- 電壓不平衡：電壓的負序分量與正序分量之比不得超過 2%

2. 微電網

對於微電網運作，EES 系統應能夠以孤島模式運作並平衡發電量和消耗量。換句話說，發電量和消耗量之間的差異應由 EES 系統根據實時負載跟踪進行補償。一般併聯於電網的 EES 系統通常應該能夠在發生故障的情況下檢測是否為孤島狀態，並在這種情況下停止運作以符合電網規範。而併聯於微電網的 EES 運營商應獲得電網運營商的批准，以將正常併聯的微電網作為孤島電網運作，並應採取措施滿足電網運營商的任何其他要求。

為了促進負載平衡，EES 應該能夠與相關設備進行通信。EES 系統應控制微電網運作中的電力品質，以符合 EN 50160 或併聯電網之相關法規。

3. 運維措施

應根據適用的操作安全標準（例如歐洲的 EN-50110）對操作人員和負責人進行培訓和任命。並隨時監控 EES 系統的相關狀態，例如：充電狀態(state of charge, SOC)與能量狀態(state of energy, SOE)。SOC 是電化學 EES 系統相對

於參考點的充電程度，該參考點指示 EES 系統可以存儲的總電荷。但由於老化或操作限制，該實際容量可能低於 EES 系統的額定容量。SOE 用百分比表示 EES 系統的可用能量，因此，SOE 對所有 EES 技術都是有效的。

系統或元件應可被監測，以了解其健康狀況，系統分別需以下功能。

監控系統，用已持續監測系統參數，以確認系統狀態是否符合所需要求，如：SOE、SOC。

測試系統，定期測試影響 EES 系統的所有儀器和控制系統，包括驗證傳感器性能，例如鋰離子電池情況下的單節電池電壓測量和溫度傳感器。

警告系統，用以定期檢視系統功能及元件狀態，並予以回報。

4. 安全措施

由於這些 EES 系統可能包含大量能量，因此，應採取安全預防措施，以防止該能量不受控制地釋放。管控人員應能夠確定系統的狀態以及了解、指揮操作如何斷開系統連接並安全地釋放存儲的能量。為了解決這些問題，除法規和標準中的特定規範要求涵蓋了這些內容，亦應在 EES 系統的設計和 EES 項目的規劃階段中進行風險評估，以識別潛在的安全隱患並採取緩解措施，例如：FMEA(IEC 60812)、HAZOP(IEC 61882)、對於系統級別的故障安全操作測試，請參考 IEC 61508-4 的相關定義。

為有效保護儲能系統，其基本功能則是能夠將系統與檢測到的風險隔離開來。系統應包含硬體與軟體兩部分。硬體部分，提供了系統電氣保護的基礎；主要設備包括電池主電流路徑中的過電流保護，例如斷路器或保險絲；還應包括防止電源電壓過低和過熱的情況，這可以通過絕緣柵雙極型晶體管（IGBT）來實現；軟體部分，提供了更全面的電子系統保護，其應能藉由程式控制以切斷變流器與 BMS，隔絕系統與所偵測到的風險狀態。

EES 系統可視為密閉空間，應先考慮空間的大小以及是否存在正常運作或著火的情況下，並參考以下設置原則：

- 評估所有潛在釋放氣體的體積，並為每種氣體較低的可燃性限閾值和較

低的暴露或毒性閾值。並應設置適當的傳感器以檢測最危險的氣體。

- 確定是否在房間內考慮壓力。壓力源可能是高速率排放的結果，也可能是由於產生的氣體引起的爆炸事件的結果。
- 應評估考慮空間內空間的分配，例如在 EES 系統周圍是否具有獨立門，子隔間或封閉空間的房間。對氣體在離散區域達到臨界濃度的可能性進行風險評估，以便可以考慮區域通風要求。
- 有關熱源管理問題，則包含正常運作與著火狀態。評估結構物及室內設備熱管理時應考慮增加或更改牆壁，天花板，結構和門的防火等級。
- 如果 EES 系統產生過多的熱量，則室內的通風空調等需求應進行升級。
- 如果 EES 系統在火災發生之前或之中可能產生未燃燒的可燃氣體，則應評估通風的風險，即持續通風是否將火災的嚴重性提高到更大的風險，而不是阻止可燃氣體形成爆炸物。

肆、 心得及建議

而在新能源政策發展方向上，我國將全力擴大建設再生能源，目標訂於 2025 年再生能源占比達 20%以上。然而由於再生能源具有不穩定性而無法調度的特性，勢必對電網之電力品質造成一定程度的影響，於是需藉由儲能系統提高電力的品質。

然而，除瞬時電力不穩定外，若再生能源占比達 20%以上，同時降低其他基載能源，以太陽能而言，於梅雨及冬季等較常無日照或低日照期間將無法滿載發電，亦可能產生能源缺口。依國際能源發展趨勢與英國石油公司資料，根據煤礦、天然氣、石油等現階段主要能源的已知礦場存量與年產量、消耗量計算，預估煤礦約 114 年耗竭、天然氣約 52.8 年耗竭、石油約 50.7 年耗竭。提高再生能源佔比將是無法避免的狀況，而能源相關的基礎建設並非一蹴可及，且投資金額巨大，需有完善的配套措施與長遠規劃。務實面對能源轉型政策以規劃相關配套措施，例如布局儲能，以強化電網穩定度與電力供應能力。

此外，電業法第 9 條：為確保電力系統之供電安全及穩定，輸配電業應依

調度需求及發電業、自用發電設備之申請，提供必要之輔助服務。因此，現階段可於獨立電網地區先行規劃儲能系統，以確保穩定供應電源，再提升再生能源佔比，以評估所需的儲能型式(基載+快速反應)與比例；並應搭配儲能自動頻率控制(AFC)調頻輔助服務，以增加收益。但 AFC 為本公司調度處以勞務服務模式發包，因此，本再生能源處因歸屬於台電公司下，故無法參與投標。此外，有關儲能的併聯技術要點亦尚未定稿，亦可能造成併聯作業與審查之困擾。

然而，就一般儲能系統所採用的電池而言，其儲能容量將隨使用時間與次數而降低，以 20 年使用壽命而言，將更新電池數次。而電池原料包含鋰等稀有金屬，因此，美國就具戰略意義的關鍵物料曾於 2015 年初調查估計，全球鋰資源約為 3,950 萬公噸，而具備商業開採價值的鋰儲備量則僅為 1,351.9 萬公噸，在目前的產業狀況下，這樣的鋰資源可用上超過 300 年不成問題，但若是需求爆炸性成長，在一年 80 萬噸的情況下，不到 17 年就會用盡，因此尚需考量後續電池儲能效能及更新成本。

綜觀上述，考量再生能源的發展趨勢，為維持電力品質，勢必需要搭配儲能系統，然而除考量需求與儲能系統系統的功能以外，亦應考量使用期限間的安全與材料供應等問題，以選擇適當之儲能系統。因此，現階段可於獨立電網地區先行規劃儲能系統，以確保穩定供應電源，再提升再生能源佔比，以評估所需的儲能型式(基載+快速反應)與比例。