

島嶼儲電系統建置規劃建議

行政院原子能委員會核能研究所 副研究員 謝錦隆 博士(chhsieh@iner.gov.tw)



103年7月10日

摘要

世界上極為多數的島嶼均還在全部倚賴昂貴和會造成環境汙染問題的石化燃料。島嶼對於能源的需求與倚賴進口量二者間的關係是成正比依存特性，但是島嶼還是有其獨特的潛能能源—再生能源（風力、太陽能發電等），善加應用這些分散式發電系統是目前可以改變此一關係的策略手段之一，隨著再生能源發電系統佔比越來越大時，將對整體電網系統的穩定性產生劇烈的影響。在推動金門低碳島所面臨的問題，是在於如何發揮約占5%總發電裝置容量之4MW風力發電機發電效率、解決運轉時之電力調控，才能有機會再設置新增的容量，此一問題勢必借助儲電系統穩定電力品質達到再生能源極大化應用目標。本報告以金門島嶼儲能應用為例，提出島嶼儲電系統需求分析、設備與場址選定篩選建議，建立儲電系統建置規劃策略應考慮之分析技術。

1.前言

在這個高喊環境保護及減低汙染排放為產業首要發展的任務時代，再生能源的發展範疇，除了創能與節能之外也開始緩步延伸到了儲電系統發展，根據圖1之預測分析，實務上若能配合適當之儲能裝置與相關系統監控技術，新及再生能源於未來之使用比重可望超越石油與燃煤，成為全球用於發電之主要能源。

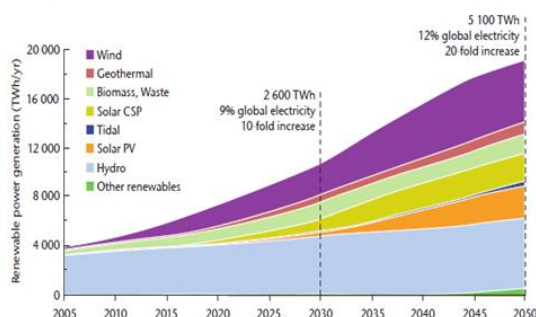


圖1 未來能源使用分布圖[ICCEP 2007]

估計全球風力發電量將達12.5 TWh，若儲能量須發電量的20%，儲能量須達2.5 TWh。台灣的經濟發展以出口為導向，全球儲電設施的增加代表台灣在這方面的發展將會帶來巨大的商機，能源產業是台灣未來可能發展的產業，這也是國際上現正積極發展的產業之一。電網用儲能市場隨著再生能源

迅速發展下，預估在2015年以後將超過四百億美元。中、美、日、韓等國已將大型儲能技術訂定為國家新能源重要發展項目。

台灣大約99.5%以上所使用的能源是仰賴國外進口。因此，再生能源是台灣可以獲取的自主能源方式。臺灣島附近主要島嶼有蘭嶼、綠島、小琉球、龜山島及基隆東北方的棉花嶼、彭佳嶼、釣魚台列嶼等共22個。其中澎湖群島包含90個大小島嶼。大陸福建沿海之馬祖列島共36個島嶼、金門島嶼周邊大小島嶼共14個。目前這些外島所需電力均由船艦輸送油料到島上柴油發電廠或發電機產電供應全島，相對發電成本較為昂貴。在政府節能減碳政策下，澎湖準備發展零碳島嶼，一部分電力將以風力配合太陽光電供應島上所需，不足部分規劃以海底電纜由台灣本島供應。在可見的未來，雖然這些再生能源的供電量在本島所佔比例不大，但是卻會對外島的獨立電網造成很大的衝擊。可以預知儲電系統的建立會隨著再生能源設置量的成長而日漸迫切。

同樣地在推動金門低碳島面臨的問題，是在於如何發揮約占5%總發電裝置容量之4MW風力發電機發電效率(金門現有三座柴油發電廠，約有97 MW發電量，並裝有兩座風力機具有4 MW的發電量)，除了須解決運轉時之電力調控技術外，也限制再新增的設

置容量；國內預計2025至2030年再生能源(風力及太陽光電等)裝置容量，將提升至14.8%-16.1%，上述所面臨的急迫性問題，在穩定電力供應上勢必要借助新興儲電系統以達到再生能源極大化應用目標。

再生能源的範疇開始緩步延伸到儲電系統發展，儲電系統初步需求將從地方的緊急救助系統開始，使用規格以大型儲能緊急備用電源系統為主，未來則將逐步滲透至家庭儲能設備，朝著小型而分散的能源發展，以降低白天的尖峰用電負載，這也將會帶動儲能電池產業的蓬勃發展的利基。儲能電池(蓄電池)產業除可搭配著再生能源做應用，也可單獨使用作為緊急備用電力系統，未來的市場需求是可預期的。根據日本經濟產業省(METI)預估(圖2)，全球儲電系統需求將隨著智慧城市的興起而成長，以日本市場而言，因為災害所促成的城鎮再造機會，將更加速落實新型態能源應用的進程，2012年開始在日本市場會有明顯的成長需求，未來更會快速擴展至全球各主要城鎮地區。

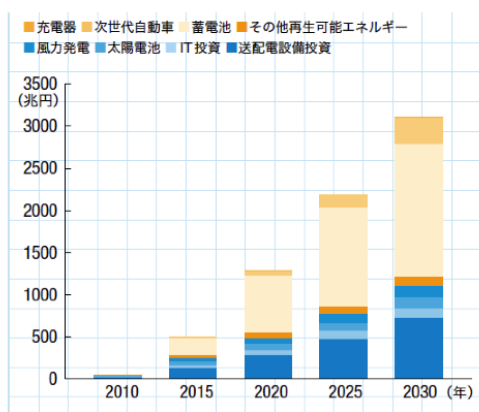


圖2 電池應用發展期程(日本經濟產業省 METI 2011)

小規模的電能可以利用蓄電池進行儲存，目前大規模的電能只能使用「抽蓄水力」。風力、太陽能發電等新能源，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所佔的比重當越來越大時，將對電力系統的穩定性產生重要的影響。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電系統就可以有效地提高能源利用率、降低環境污染。

儲電系統在穩定電網、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。(如表1應用領域功能說明)

2. 儲電系統與應用範圍

各種儲能的形式有其適用的範圍以及發展趨勢，如圖3、4所示，依電力儲能適用範圍區分為小於1 MW的電力儲電系統，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併串聯之蓄電池(鉛酸電池)；10至100 MW電力儲電系統，包括氧化環原鈳液體電池、淺層壓縮空氣儲能發電系統、鈉硫電池、燃料電池；大於100 MW電力儲電系統，包括水力發電系統、深層壓縮空氣儲能發電系統。

表1 儲電系統在電力系統中的應用領域

| 應用領域 | 發電功能 | 輔助供電功能 | 輸配電系統應用 |
|------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 主要方式 | 電能管理 負載調節 尖峰發電 | 頻率調節響應 暫態備用電源 長期備用電源 虛功率控制 | 提高系統可靠性 與新能源結合 |
| 主要作用 | 提高發電設備利用率， 減少對系統總裝機容量的要求 | 降低輔助設備成本 | 提高系統設備利用率， 延緩新增投資 |

因此，要發揮電能管理作用則至少儲電量要在10M以上，適用的系統有水力發電系統、空氣儲能發電系統、氧化環原鈳液體電池、及大量儲氫發電系統。(圖3)

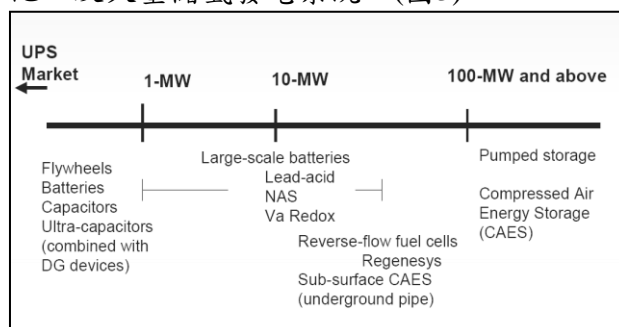


圖3 儲電系統的形式及其適用應用範圍

表2說明各種儲電系統應用的情境。

表3說明儲電系統特點，包括：成本、壽命、環境污染、容量、功率、安全性及技術等等，例如鉛酸電池具有低成本的優點，但是卻具有壽命短、污染環境及需要回收等缺點。

點的特點；氧化還原液流電池則具有容量大、功率和容量獨立設計及能量密度低的優點；壓縮空氣儲能(CAES)具有容量大、成本低的優點、但是受地點限制及需要氣體燃料加熱。

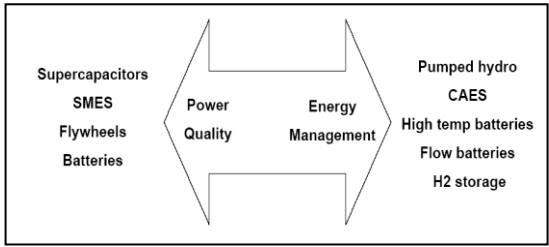


圖 4 儲電系統發展趨勢

表2 儲電系統應用情境、選項及功能與效益

| 應用情境 | 儲能選項 | 功能/效益 | 規模 (容量) |
|------------------|-----------------|----------------|------------|
| 可攜式電力 (輕巧續航力) | 鋰電池、儲氫 | 負載供電/潔淨環境 | 小 |
| 島嶼及固定應用 | 液流、鈉硫、鉛酸、鋰電池、儲氫 | 備援電力、電能管理/污染控制 | 中、大 |
| 微型電網及社區型 | 液流、鈉硫、鉛酸電池、儲氫 | 備載、電能管理/永續發展 | 中 |
| 風場及太陽能等再生能源 | 鉛酸、液流、鈉硫電池 | 電能管理/永續發展 | 中、大 |
| 地理區域性 | 抽蓄水力/壓縮空氣 | 電能管理/永續發展 | 大 |

表3 儲電系統特點

| 分類 | 種類 | 特點 |
|------|-----------------|----------------------------|
| 化學儲能 | 鉛酸電池 | 低成本、壽命短、污染環境、需要回收 |
| | 氧化還原液流電池 | 容量大、功率和容量獨立設計、能量密度低 |
| | 鈉硫電池 (NaS) | 能量密度、功率密度高、成本高、安全性差 |
| | 金屬空氣電池 | 能量密度非常高、充電性能不佳 |
| | 超級電容器 | 壽命長、效率高、能量密度低、放電時間短 |
| | 二次電池 | 能量密度、功率密度高、低成本、大功率電池存在安全問題 |
| 物理儲能 | 抽蓄儲能 (PHS) | 容量大、技術成熟、成本低、受地點限制 |
| | 壓縮空氣儲能 (CAES) | 容量大、成本低、受地點限制、需要氣體燃料 |
| | 飛輪儲能 (Flywheel) | 功率高、能量密度低、成本高、技術需要完善 |
| | 超導儲能 (SMES) | 功率高、能量密度低、成本高、需經常維護 |

根據儲電系統的供電時間及供電功率來區分其應用範圍，可分為電力品質與不斷電系統(Power Quality and UPS)、備載電源(Bridging Power)與電源管理(Energy Management)三個主要的應用領域範圍，如圖5所示，當需要應用於電源管理需求時，甚至達到冬電夏用之作用，適用的儲電系統則包括有壓縮空氣儲能、氧化還原液流電池及水力發電。以下分別說明前二者之特性與發展。

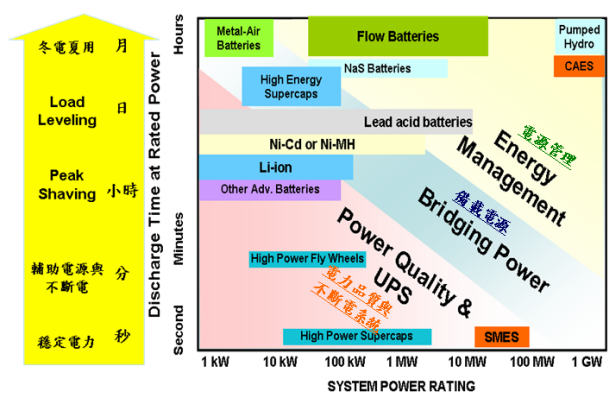


圖 5 各種儲電系統的應用範圍

根據表3，較適用於風力、太陽能發電場、島嶼配電及地理環境區域性的需求之儲能規模範圍在百 kW 級到 MW 級之建置容量，除了抽蓄水力儲能外，若考量系統的穩定性、安全性及擴充性，可選用壓縮空氣或液流電池儲電系統，相關特性說明如下章節。

3 壓縮空氣與液態空氣儲電系統

壓縮空氣儲能 (Compressed Air Energy Storage, CAES) 不像電池儲能為簡單型的儲電系統，比較屬於一種調峰用的燃氣渦輪發電廠，對於同樣的電力輸出，其所消耗的燃料要比一般燃氣渦輪發電機少約40%。因為一般燃氣渦輪發電機在發電時大約需要消耗輸入燃料的2/3進行空氣的壓縮，而CAES則可利用電網負荷低峰需求時的廉價電能來預先壓縮空氣，在發電時再配合部分燃氣加熱於釋放儲存的壓縮空氣來推動渦輪發電機產生電力。

一般氣態型式的壓縮空氣是儲存在合適的地下礦井、廢棄天然氣井或者溶岩下的洞穴中。

國際上第一個投入商用運行的CAES是在1978年建於德國Hundorf的一台290MW機

組。美國1991年在Alabama的McIntosh建成了第二台商用CAES，機組功率為110MW，整個建設耗時二年半時間，耗資達6500萬美元，這台機組能夠在14分鐘內並網供電。第三台商業運行CAES，也是目前世界上最大容量的CAES，計畫建在Ohio的Norton，整個電站裝機容量為2700MW，共有9台發電機組，其壓縮空氣儲存在一個當地地下2200ft深的石灰石礦井裡。

Expansion energy公司發展的液態空氣壓縮儲電系統(VPS)，除了一般空氣壓縮外更進一步將空氣液態化，以減少儲存容積及避免被儲存地點受限的問題。將電力以液態空氣儲能，在負載需求下再推動渦輪發電機進行發電。

VPS的儲能(壓縮)過程，如圖6(a)所示，利用離峰電力液化空氣，儲存於低壓低溫容器中(L-air storage)(壓力70Psia、溫度零下175°C)，液化空氣程序與液化瓦斯相同。液化程序如下：

第一段(約13% 電能)—將空氣壓縮，再輸送至以低溫氨氣作為冷媒之垂直式熱交換氣管內，因空氣溫度的下降而使空氣逐漸密度增加，熱交換氣是由氨吸收制冷器(Ammonia Absorption Chiller, AAC)提供冷卻作用，因降溫而將空氣中水份移除，此低溫水份再進入AAC器內輔助冷卻。利用分子濾網將殘存水份及二氧化碳移除以避免產生冰塊及乾冰。

第二段(約87% 電能)—將已乾燥之空氣再經冷凍式壓縮空氣(refrigeration compressed air)程序生成液態空氣，儲存於液態空氣槽中(L-air storage)。

VPS的發電過程，如圖6(b)所示。

第一階段發電回路—利用熱交換作用將液化空氣(L-air storage)(壓力70Psia、溫度零下175°C)在膨脹過程中因吸熱而再進行另一空氣液化程序，儲存於液化空氣緩衝槽(L-air Buffer)，同時回收冷液能量，再將L-air Buffer經熱交換器後，推動渦輪發電機進行發電輸入電網中。

第二階段發電回路—需要額外的燃料加熱，推動渦輪發電機進行發電輸入電網中，熱交換器進行廢熱回收，無法回收部份最終排入大氣中。

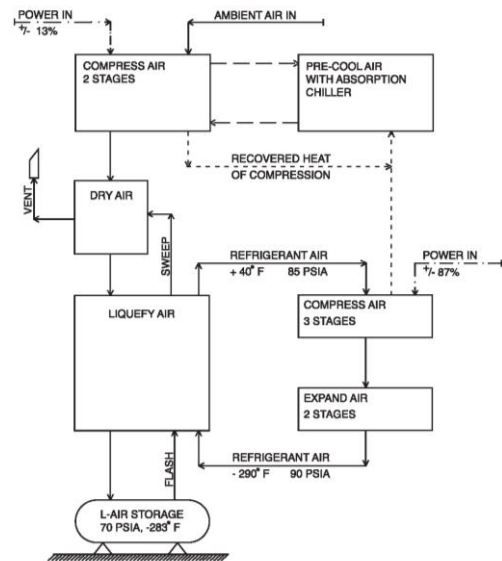


圖 6(a) VPS 儲能(壓縮)過程

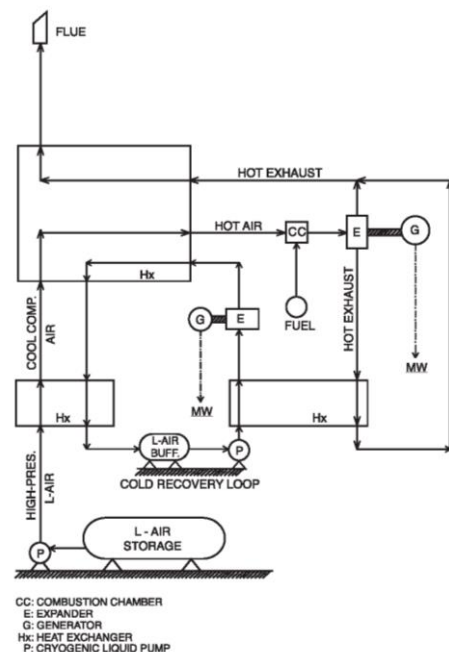


圖 6(b) VPS 發電過程

與一般僅空氣壓縮儲能(CAES)比較，VPS具備以下特性：

優點：

因空氣液化所以儲存壓力較一般低，抗壓或壓爆疑慮減低，故較安全。

缺點：

儲存溫度(-283°F)低，故需要額外保冷設備。更需較多的額外燃料(瓦斯或天然氣、燃煤)來升溫低溫空氣之用

4. 氧化還原液流電池

氧化還原液流電池 (Redox Flow Battery, RFB) 有規模大、壽命長、成本低、效率高的主要特點。為僅次於空氣壓縮系統儲存容量之儲電系統，可以因應供電量需求來擴充電解液量，且因化學儲能的穩定性，亦可作為所謂的冬電夏用之儲電系統

氧化還原液流電池是透過不同價態的離子相互轉化來實現電能的儲存與釋放，是目前化學電源中唯一使用同種元素組成的電池系統，避免了正負電池間因不同種類極性物質的相互滲透所產成的交叉污染問題。全鈦氧化還原液流電池原理如圖7所示，將一定數量單電池串聯成電池組，可以輸出額定功率的電流和電壓。

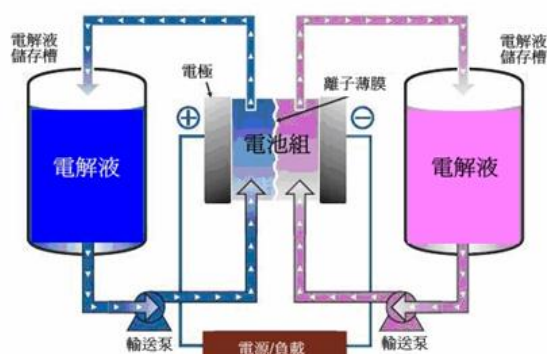


圖7 氧化還原液流電池作用原理

5. 金門設置儲電系統評估

5.1 金門環境條件

金門與烈嶼的花崗岩類岩主要為花崗岩(如圖8)，金門島西側烈嶼的地質(如圖9)，多以花崗岩為主，均成塊狀的凌散分布，金門島除花崗岩外的地區亦與烈嶼具有相似的其他岩石或岩層，烈嶼的地質單位有現代堆積、紅土礫石層、玄武岩層、金門層和花崗岩類五地質，現代堆積分布面積較廣，其次為花崗岩類。

金門縣瓦斯供應以桶裝瓦斯為主，目前全縣共有 14 家煤氣行供應家用瓦斯。(表 4)

中油公司於民國95年在金湖鎮新頭段建置「金門油庫」，有六座儲油槽(一千五百公秉)，供應九五無鉛汽油、超級柴油、航空燃油，取代軍方的夏興油庫。可穩定供應燃油需求。

5.2 設置儲電系統之分析

金門地區電力由獨立之發電、供電、配電系統供應，採超級柴油及重油火力發電方式，全區最高及最低負載用電量約佔大小金發電廠之裝置容量60%、20%左右，金門地區電廠設備概況如表5所示，全區之電廠裝置容量約為82MW，而台電在金門金沙設置之2部風力發電機組之裝置容量為4MW，已佔電廠裝置容量接近5%，若以最高及最低負載用電量需求估算將更高達8%至24%，雖然風力發電平均在冬季及夏季各只佔9%、3%(年平均約為4%左右)，但是若風力發電完全滿載發電或是擬再新增其他再生能源機組時，則將會嚴重影響電力調控，為有效提高風力發電比率，建議需裝置配電用之儲電系統容量至少1MW，將風力發電的電能儲存，在負載需求突然增大時穩定供電，用以解決調峰及電力調控問題。

6. 島嶼儲電系統設備與場址選定篩選建議

島嶼因為囿於資源限制，設備之選用應更審慎評估，設備與場址選定篩選所考慮的條件必須包括(A)工程建廠面、(B)環境產業面及(C)後勤備援面三大層面，期望滿足成本低、效益高、可行性高等三個原則，作為設備與場址篩選評估之條件。三大層面內容如下：

(A)工程建廠面

- (1)設備成熟度與銷售使用率；
- (2)地理環境，包括地形、地質斷層、地震；
- (3)氣候，包括雨量、季風、氣溫。

(B)環境產業面

- (1)燃料、電力自主等基礎設施與供應；
- (2)環境，包括環境汙染、人為建設及景觀等；
- (3)地方產業現況，包括當地居民相關產業支援。

(C)後勤備援面

- (1)技術人力；
- (2)交通運輸，包括聯外交通和陸上交通；
- (3)設施系統後續維護。

依據上述篩選所考慮的條件，島嶼的燃料產業面及後勤備援面是較弱得一環，關於Expansion energy公司發展的液態空氣壓縮儲電系統(VPS)在設備成熟度與銷售使用率

方面未能顯見實際應用業績，因此選用之設備若採用液態空氣壓縮儲電系統(VPS)則困難度會較高，若採用選用液流電池系統，因相對設施系統後續維護成本低、效益高、因此可行性會較高。

表4 金門縣全區煤氣行列表

| | 煤氣行名稱 | 鄉鎮市區 | 地址 |
|----|----------|------|--------------|
| 1 | 小胖瓦斯行 | 金城鎮 | 莒光路 145 號 |
| 2 | 中台瓦斯行 | 金城鎮 | 莒光路 140 號 |
| 3 | 許源順煤氣行 | 金城鎮 | 中央市場 |
| 4 | 金門瓦斯供應中心 | 金城鎮 | 浯江路 24 號 |
| 5 | 金龍瓦斯行 | 金寧鄉 | 頂堡 52-1 號 |
| 6 | 世豐瓦斯行 | 金寧鄉 | 環島北路 361 號 |
| 7 | 文文瓦斯行 | 烈嶼鄉 | 后頭路 3-4 號 |
| 8 | 金源盛瓦斯行 | 烈嶼鄉 | 庵下路 2 號 |
| 9 | 宏達煤氣行 | 金湖鎮 | 新武德新莊路 160 號 |
| 10 | 第一瓦斯行 | 金湖鎮 | 武德新莊自強路 2 號 |
| 11 | 湖盛瓦斯行 | 金湖鎮 | 武德新莊自強路 2 號 |
| 12 | 永安煤氣行 | 金沙鎮 | 沙美路 133-1 號 |
| 13 | 金門縣農會瓦斯行 | 金沙鎮 | 三民路 20 號 |
| 14 | 振盛瓦斯行 | 金沙鎮 | 沙美 133 號 |

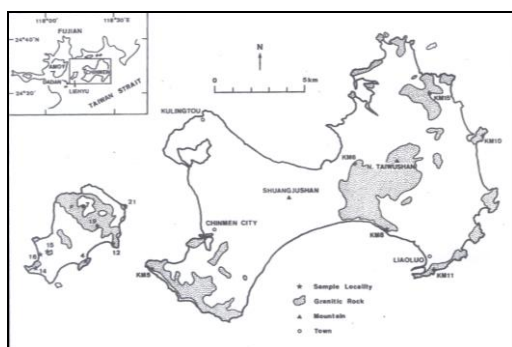


圖 8 金門島與烈嶼島的花崗岩類分部

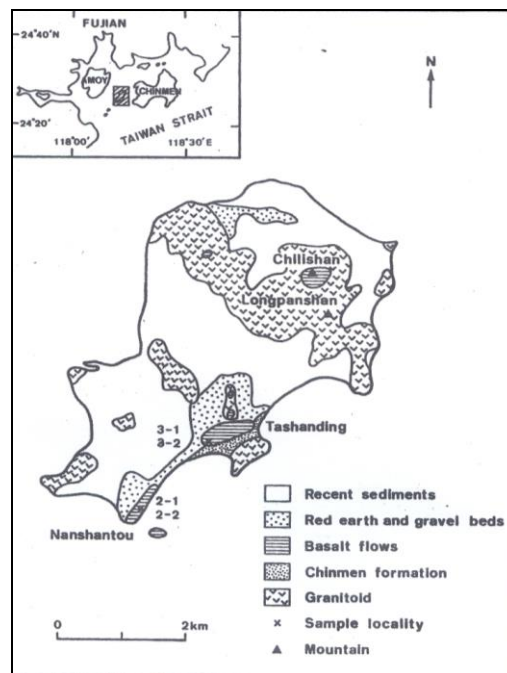


圖 9 烈嶼島地質圖

表6 金門地區電廠設備概況

| 地區 | 廠別 | 機組容量 (kW) | 數量 (部) | 合計(kW) |
|-----|----|--------------|-----------|--------|
| 大金門 | 莒光 | 1016 | 2 | 2032 |
| | | 1540 | 1 | 1540 |
| | 夏興 | 3000 | 2 | 6000 |
| | | 3512 | 3 | 10536 |
| | 塔山 | 7500 | 4 | 30000 |
| | | 7500 | 4 | 30000 |
| 小金門 | 麒麟 | 388 | 3 | 1164 |
| | | 592 | 1 | 592 |
| 合計 | | | | 81864 |

7. 結論與建議

儲電系統在穩定電網、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。亦即可以補足傳統電力系統中之「原料-發電-輸電-配電-用電」供電鏈成為完整產業所需的六大產業供應鏈，並且可以應用在「發-輸-配-用」等不同層面，因供電鏈之特性需求差異而各有其適用之儲電技術，如此即可以協助穩定供電、提高利用率與電力品質外，更會發展整體儲電經濟產業。

「珍愛能源，共創未來」、「開發潔淨的天然資源，創造島嶼的永續遠景」，島嶼

生態的發展樂觀與否，不僅是島嶼也是人類生活環境永續生存的指標依據。

8. 參考文獻

- [1] 謝錦隆，再生能源電力儲電系統，核能研究所所內報告(INER-P0194)，中華民國 96 年 9 月。
- [2] 工研院，再生能源儲能市場發展現況，<http://college.itri.org.tw>。
- [3] 謝錦隆，電網級儲電系統管理技術與應用，核能研究所所內報告(INER)，中華民國 102 年 1 月。
- [4] 陳勝朗，建廠工程基本設計方法概論，科技出版。
- [5] 陳勝朗，請(採)購技術規範實務—工程定作、財物定製、專業服務之請購規範範例，日正出版。
- [6] 謝錦隆，島嶼再生能源系統與場址評估(INER-A0754H)，中華民國 94 年 09 月。