

離島微電網分散式能源與儲能容量配比研究

李奕德¹ 姜政綸¹ 章俊隆^{2*} 劉力源³ 張永瑞⁴

摘要

本研究利用粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)建立一套可應用於微電網場域之分散式能源與儲能容量評估方法，以考量在最佳投資成本效益下，提出各種分散式能源裝置容量的配置。透過日照、風速等氣象資料及負載用電量相關資料蒐集後，再考量儲能電池及儲能轉換器容量與柴油機組限制條件，即可透過粒子群演算法以疊代的方式進行搜尋計算，並逐步收斂至最佳解，找出適合該微電網場域之再生能源與儲能系統的容量配置，以達到最低的發電成本或最高再生能源占比。本研究將分散式能源裝置容量評估技術以C#程式語言與LabVIEW進行開發，利用LabVIEW具動態連結資料庫(DLL, Dynamic Link Library)整合之特點，搭配友善規劃的人機介面，讓使用者能以簡潔明瞭的方式進行操作，並以圖表清楚地呈現評估計算結果。最後以澎湖東吉嶼配比估算為例，驗證粒子群演算法程式的準確性，再將其應用於澎湖桶盤嶼微電網再生能源容量與儲能配比計算，分析結果可作為離島微電網系統設計之重要參考。

關鍵詞：粒子群演算法，微電網，分散式能源，儲能

1. 前言

綠色能源的開發與應用可有效減緩地球的溫室效應，世界各國皆積極發展，也是未來的趨勢。但由於再生能源發電情況受限於環境氣候，具有間歇性與不確定性問題，若區域之再生能源占比逐漸提升，勢必會衝擊電力系統運轉之穩定性。而為了提升再生能源滲透率，同時增加系統運轉安全，發展微電網技術成為必要工作。然而微電網是將區域內的分散式能源與負載整合，並透過微電網關鍵技術達到區域內系統的平衡與穩定，必要時亦可與外部電力系統斷開而獨立運轉，因此微電網被視為提升區域內再生能源占比的一種手段，目前各國皆

積極發展微電網關鍵技術，及建置微電網示範區(經濟部能源局，2016)。

微電網內的再生能源發電裝置，可以減少柴油發電機發電量，及減少對當地造成空氣污染問題，達到節能減碳目的。然而再生能源發電量多寡需視建置地點之氣候而定，當再生能源占比提高時，容易對電力系統造成影響，因此在微電網規劃初期，分散式能源裝置容量估算，需能滿足再生能源高滲透率的目的，但又不希望對既有電力系統帶來負面影響，在同時兼顧經濟性與穩定性的條件下，並考量當地負載用電特性，找出各種發電裝置最適合的容量，包括：太陽光電、風力發電及儲能系統等，為一重要議題，台電委託研究計畫期末報

¹ 原子能委員會核能研究所核能儀器組 副研究員

² 原能會核研所核能儀器組 副工程師

³ 原能會核研所核能儀器組 助理工程師

⁴ 原能會核研所核能儀器組 研究員

*通訊作者電話: 03-4711400#6344, E-mail: clchang@iner.gov.tw

收到日期: 2019年10月28日

修正日期: 2020年03月23日

接受日期: 2020年04月17日

告(2017)。為有效估算分散式能源最佳裝置容量，本研究以再生能源所帶來的經濟效益為出發點，並結合粒子群演算法(張政文，2016；Shi and Eberhart, 1998)，發展出一種評估分散式能源與儲能系統裝置容量的技術。

臺灣有許多離島為自行管理其供電或供水，如：澎湖桶盤嶼、花嶼、東吉嶼、東嶼坪、及西嶼坪等三級離島，目前由台電公司及縣政府補助當地電力合作社自行供電，均實施全日供電。離島由於系統規模小、距離大型電力系統遠，多由個別用戶以柴油機或獨立系統供電，使用傳統石化燃料。由於燃料需遠距運輸，燃料與運輸的高成本導致單位發電成本較高，存在電力供應經濟性課題。若於離島地區大量導入再生能源將可減少燃料使用，同時解決環保與成本問題。然而導入大量再生能源可能影響電力系統供電品質與穩定性，但隨著儲能技術提升與建置成本逐漸下降，若以微電網技術為基礎，擴大再生能源利用，將有機會降低發電成本與提高離島供電品質及可靠度。

本文最後以東吉嶼微電網現有的再生能源容量與儲能配比等運轉數據，驗證程式的正確性；再舉桶盤嶼為例，蒐集離島柴油發電機發電與負載用電資料，進行統計與分析；再依其規劃可能設置之太陽光電、風力發電、及儲能系統等設備裝置容量，並進一步估算微電網系統單位發電成本，及再生能源占比，分析結果可作為離島微電網系統設計之重要參考。

2. 分散式能源裝置容量評估技術

為了找出微電網中各種分散式能源裝置容量於特定的配比下，得出最低的發電成本，本研究透過粒子群最佳化演算法，開發可應用於分散式能源裝置容量評估的程式，經由蒐集再生能源發電量及負載用電量之資料後，考量儲能電池及儲能轉換器容量、各種設備設置成本與柴油機組限制條件，即可透過粒子群演算法

進行分散式能源裝置容量評估。本章首先說明如何將氣象資料轉換成分散式能源的發電量，其次簡介本研究使用之粒子群演算法，最後提出分散式能源裝置容量評估方法與流程。

2.1 分散式能源裝置發電量計算

一般微電網在系統規劃建置初期，首先必須面臨到的問題即是微電網中各種分散式能源類型的選擇及裝置容量的配置，這關係到該微電網區域中的負載用電量、用電特性以及各種分散式能源發電所帶來的效益。為了有效地規劃出微電網中合理的分散式能源裝置容量，可藉由微電網建置場域的歷史資料蒐集，包括：日照量、日照時數、風速大小及負載用電量等資訊，並經由分析其發電量多寡以找出合適的容量配比，台電工程月刊(2017)。為準確地計算出再生能源的發電量，需得到再生能源建置地點的氣象資料，包含：估算太陽光電及風力發電的發電量所需之氣象資料，該資料可由中央氣象局網站(交通部中央氣象局觀測資料查詢系統網站)取得，並以小時為單位，取得包括觀測時間、日照時數、全天空日射量、風速之全年資料。而一般太陽光電發電量計算方法如下：

$$\text{太陽能發電量} = \text{全天空日射量} \times \text{日照時數} \\ \times \text{系統性能比} \times \text{傾斜角增加倍率}$$

其中，系統性能比(Performance Ratio, PR)是指太陽能板自太陽吸收的能量，轉換至電力系統的電量比例，性能比PR為評鑑太陽光電系統之光能轉電能的能量轉換損失的重要指標，此數值越高表示此系統能將越高的能量轉換出來，系統的性能越好，其影響因子包括：模組溫度係數、模組表面灰塵、模組受到遮蔭情形、線路損失、元件匹配、變流器效率等等，也代表太陽光電系統在設計與施工的品質。傾斜角則是指太陽能模組平面與水平地面的夾角，此夾角是模組一年中發電量為最大時的最佳傾斜角度，而最佳傾斜角與當地的地理緯

度有關，當緯度較高時，一般對應的傾斜角也大，模組調整至最佳傾斜角時的日輻射量較水平擺放之日輻射量增加，亦可增加其發電量。

此外，風力機組的發電量則因各種風機特性不同，因此需參考其發電曲線以估算風力機組的發電量，由於一般風力機組技術手冊僅提供該機組發電曲線圖作為參考，並未提供風速對風機發電量的關係式，這將造成在計算發電量時的困難，故計算前需先求得各風機的發電曲線近似方程式，以供後續發電量的計算。風力機組發電量估算主要是利用風速資料，搭配各種容量之風力機組發電曲線圖計算而得，為避免不同微電網場域在進行容量評估時，僅套用單一風力機組發電曲線將造成發電量估算的誤差，故本研究在計算風力機組發電量時，選用市面上單機容量10 kW、100 kW、300 kW、或600 kW的風力機組參數資料，作為風力發電的計算。

考量微電網系統導入後，再生能源滲透率提高，易因天氣變化而使得再生能源發電不穩定，將對電力系統造成影響，故系統上仍應有柴油發電機作為基載，維持電網運轉，以因應突發之再生能源發電量變動。然而，國外柴油機製造廠商無論對自然吸氣型或增壓機型，皆建議應儘量減少低載或空載運行時間，並規定最小負荷不能低於機組額定功率的25%至30%，以避免部分機油不能完全燃燒，在氣門、進氣道、活塞頂、活塞環等處形成積碳，還有一部分機油則隨排氣排出，使汽缸套排氣道內就會逐步積聚機油，也會形成積碳。同時有柴油機組的加入也可於再生能源發電變化時即時調整柴油機組發電量，以維持電力系統的穩定，故本研究於計算發電裝置最佳配比時，已將柴油發電機及其限制條件一併納入考量。

2.2 粒子群演算法簡介

粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)的理論基礎是以單一粒子來做為鳥類族群之中的單一個體，於演算法中賦予該粒子

(個體)擁有記憶性，並能夠透過與粒子群體中的其他粒子之間的互動而尋求到最佳解。主要採取了2個觀念，其一為每個個體能夠記住自己當前所找到的最好位置，稱為粒子最佳適應值(pbest)。另一為每個個體還能記住群體中所有粒子找到的最好位置，稱為群體最佳適應值(gbest)。因此在PSO演算法中，粒子具有以下特性：

1. 每個粒子經由適應函數的衡量而具有一個適應值，以判斷目前所在位置之好壞。
2. 每一個粒子必須賦予記憶性，以記得所搜尋到的最佳位置。
3. 每一個粒子皆以此次的飛行速度與方向來決定下一時間點飛行方向。

PSO計算流程為：一開始以初始化方式產生一群隨機的粒子，然而每個粒子皆可代入函數計算出對應的適應值，後續再透過疊代以找到最佳解，在每一次的疊代中，粒子的移動受到自身目前為止所搜尋到的最佳適應值記憶pbest，以及其它粒子到目前為止所搜尋到的最佳適應值記憶nbest影響，而全部群體所搜尋到的最佳適應值記憶為gbest，因此gbest為該次疊代結果裡所有nbest中的最佳適應值。粒子在d個維度中的速度需受到最小速度Vmin與最大速度Vmax的控制，速度影響了粒子在目前位置(適應值)與目標之間的搜尋能力，粒子i在時間t的速度與位置可表示如式(1)、(2)：

$$v_i^{t+1} = v_i^t + c_1 r_1 (p_i^t - x_i^t) + c_2 r_2 (p_g^t - x_i^t) \quad (1)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (2)$$

其中：

v_i^t : 粒子i在時間t的速度。

x_i^t : 粒子i在時間t的位置。

p_i^t : 粒子i從開始至時間t之間搜索到的最佳位置。

p_g^t : 所有粒子從開始至時間t之間搜索到的最佳位置。

r_1, r_2 : 介於0~1之間的隨機值，用來保持群體

的多樣性。
 c_1 ：自身經驗權重。
 c_2 ：群體經驗權重。

2.3 分散式能源裝置容量評估方法與流程

由於PSO演算法基礎是假設有一群粒子一開始隨機分布於特定範圍中，在開始計算前須先定義粒子種類及數量，接著所有粒子在此特定範圍內進行最佳適應值的搜索，並在搜索過

程中會參考群體及本身歷史經驗中最佳的位置，於下次疊代時調整飛行的速度及方向，並重複疊代直到滿足最終結束計算的條件。本研究將各種分散式能源裝置容量定義為具4個變數的粒子，包含：太陽光電、風力發電、儲能電池及儲能轉換器，粒子飛行速度則是指4個變數容量大小於每次進行疊代時的調整數值，而最終目的則是為了找到最佳的適應值，即此容量配比下的發電成本。將PSO演算法應用於最佳配比計算的流程圖如圖1所示，詳細步驟說明如

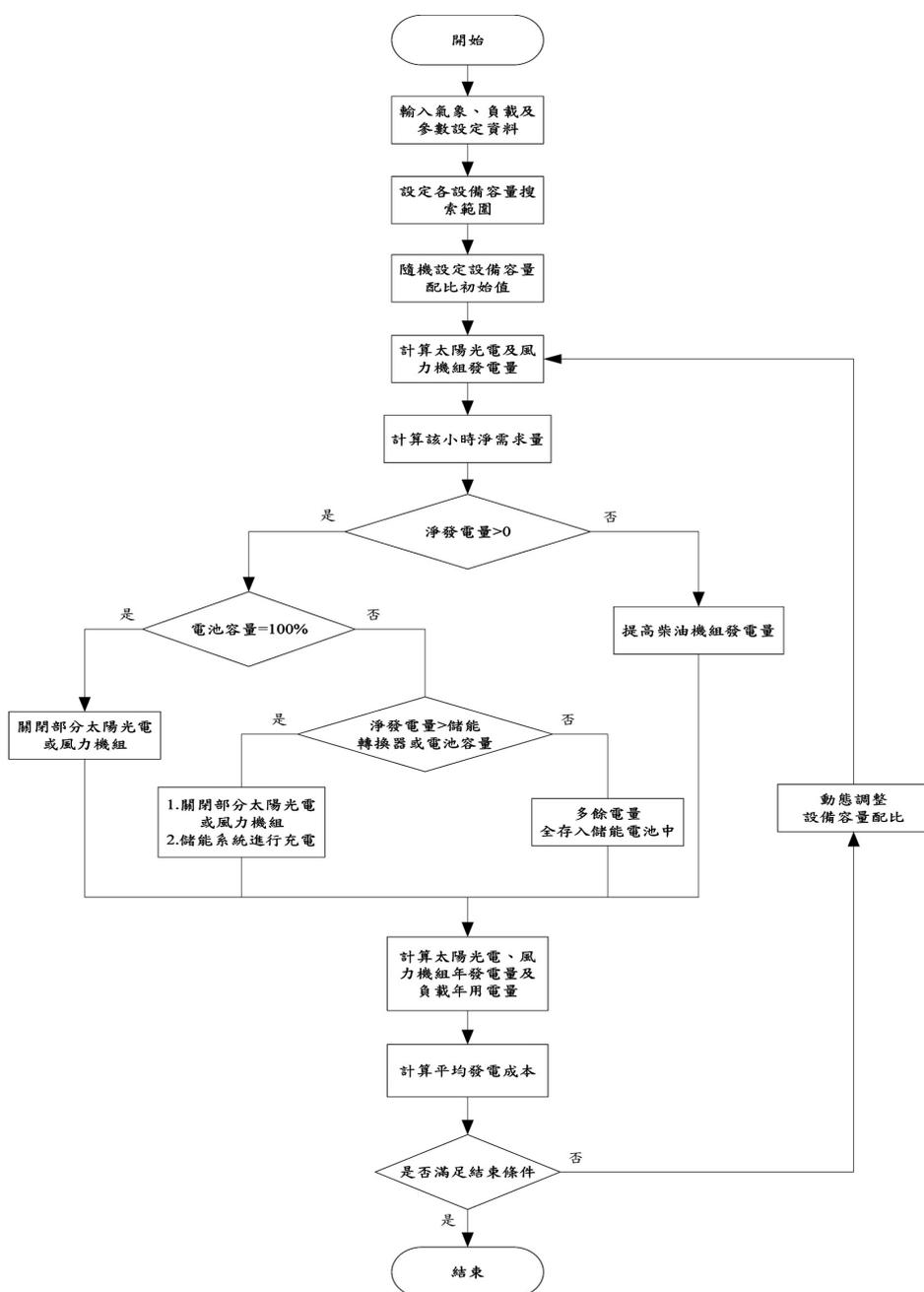


圖1 分散式能源裝置容量計算流程圖(本研究繪製)

下：

1. 蒐集微電網當地之年度氣象資料、負載量，建立太陽光電與風力機組之發電近似方程式，以及輸入太陽光電、風力機組、儲能與柴油發電機等各種分散式電源設備的單位成本。
2. 依照使用者需求，設定太陽光電、風力發電、儲能電池及儲能轉換器各個設備裝置容量的搜索範圍上下限。
3. 根據氣象資料計算每小時的太陽光電發電量及風力機組發電量。
4. 計算該小時的淨需求量如下：

$$P_{NET} = P_{PV} + P_{WT} + P_{(DE_min)} - P_{LOAD} \quad (3)$$

其中：

P_{NET} ：淨需求量

P_{PV} ：太陽能發電量

P_{WT} ：風力機組發電量

P_{DE_min} ：柴油機組運轉最低發電量

P_{LOAD} ：負載量

5. 視淨需求量調整柴油機組輸出或儲能系統充放電量，當淨需求量大於零，即系統中有多餘的發電量，若儲能轉換器及儲能電池可儲存容量足夠，則多餘電量皆由儲能系統吸收；若儲能轉換器或儲能電池可儲存容量不足，則需放棄部分發電。當淨需求量小於零，即系統中再生能源發電量不足，若儲能轉換器及儲能電池可放電量足夠，則不足部分由儲能系統供電；若儲能轉換器及儲能電池可放容量不足，則不足部分由柴油發電機供電。
6. 前一步驟計算完成後，可得到太陽光電、風力機組及柴油發電機全年每小時發電量，及併入電網的發電量，將全年計算結果累加後，可計算出再生能源、柴油發電機的全年總發電量，以及全年負載用電量。

7. 根據各項設備配比容量及單位成本可計算出建置成本，並依其使用年限可得到年均化成本，再將各項再生能源的年發電量除以其年均化成本，即可算出該設備平均每度電的發電成本。
8. 若設定粒子數量為n個，則計算時會有n個不同配比進行搜索，並得到n個發電成本計算結果，再由計算結果中找出最低的發電成本及其對應的容量配比，並作為下次調整配比方向的參考。
9. 當粒子重複疊代計算至滿足結束條件時，即可得到最低發電成本下的發電裝置容量配比。

3. 分散式能源裝置容量評估程式

根據2.1節所說明之日照、風速相關資料蒐集，以及各種分散式能源發電量計算方法後，便可將PSO演算法之評估技術以C#¹與LabVIEW²作為開發平台，利用該程式具有與DLL (Dynamic Link Library)與Excel試算表整合的特點進行開發，使用者可將須事先所蒐集之資料匯入Excel表格中，再透過程式直接讀表格進行計算。圖2顯示分散式能源裝置容量評估應用程式人機介面，分散式能源裝置容量評估應用程式實際運作流程如下：

1. 程式會依不同月份，將事先蒐集的全年度每小時相關資料包括觀測時間、日照時數、全天空日射量、風速及負載等，分為12個Excel工作表檔案匯入一整年資料。程式可以由使用者自行輸入相關參數，例如：各項分散式能源設備建置成本、發電成本及使用限制等資料，或可參考系統預設值。
2. 由於PSO演算法在開始時需設定求解的搜索範圍，以避免在計算過程中，因搜索範圍的

¹C#為C程式語言，本研究是以C#撰寫PSO程式，並將其編譯成DLL。

²LabVIEW是National Instruments公司出品的圖形化程式語言，功能為輸入/輸出之人機介面及連結PSO程式進行最佳化計算。



圖2 分散式能源裝置容量評估應用程式人機介面(本研究製作)

不合理而增加了不必要的計算時間或降低了結果的準確性，例如：設備的裝置容量不能為負值，且使用者於設定時須考量可投入之初期建置成本，過高的裝置容量可能導致相對高的建置成本。此外，使用者也可依使用需求來決定該場域所要裝設的分散式能源種類。進行計算時，由於程式預設的粒子數為5組，因此首先程式會根據使用者設定的各項設備裝置容量上下限，以隨機的方式選出5組含有4個變數的粒子，其中這4個變數分別代表的是太陽能、風力發電機、儲能電池及儲能轉換器的裝置容量。在取得各粒子中的變數後，程式即參考已匯入的資料進行發電及儲能充放電量的計算。

- 根據2.1節所述的太陽能發電量的計算方式，可知單位容量的太陽能設備發電量，再乘上裝置容量後即可計算出太陽能總發電量。接著進行風力發電的計算，其中風力機組的發電量則因各風機特性不同，需參考其發電曲線以估算風力機的發電量，因此程式中分別建立市面上單機容量10 kW、100 kW、300 kW、600 kW的風機發電曲線作為發電量的計算，在計算時程式會先判斷本次計算的風機裝置容量，並依其容量大小的不同套用不同的發電曲線，使不同機組容量的發電量估算能較接近實際情形。
- 接著計算出該小時的淨需求量後，便可決定

儲能系統的充放電量、柴油機組發電量或再生能源的棄電量，然後再繼續下個小時的計算，直到該月份全部計算完成後會進行一次統計，最後再將12個月份的計算結果彙整為全年資料後寫入“最低單位發電成本”“最高再生能源占比”工作表中。

- 當第一次隨機分布的5個粒子計算完成後，便會開始進行疊代計算，粒子中的4個變數在搜尋求解的過程中，會參考本身的最佳經驗及群體的最佳經驗來調整每個變數的搜尋方向，直到完成5次的疊代計算後會得到每次的計算結果，該程式會自動由結果中找出最低發電成本下的分散式能源裝置容量，並找出所有結果中的最高再生能源占比作為參考，讓使用者能了解該場域中哪一種分散式能源的設置更具有經濟效益，以及在何種配置情況下能得到最高的再生能源發電比例。

4. 離島案例分析

臺灣離島地區因交通不便，無法由本島引接電源，目前惟馬公市桶盤、望安鄉花嶼、東吉嶼、東嶼坪及西嶼坪五個小離島尚未被台電公司接管，乃由縣政府、各小離島村辦公室或水電合作社負責其柴油發電機組及海水淡化廠(日產200噸)的營運工作，均實施全日供電。且柴油發電機直接輸出110V/220V的電壓供應島

上使用。本章將以東吉嶼上實際運轉之再生能源與儲能裝設容量，透過比對所使用之再生能源換算、再生能源占比、每度電發電成本等資料，以固定配比方式驗證本研究使用之計算方法確為可行。其次，再以桶盤嶼為例，進行再生能源容量與儲能配比的最佳化程式測試，藉以提出最低發電成本或最高再生能源占比的微電網配比，分析結果可作為離島微電網系統設計之重要參考。

4.1 東吉嶼離島微電網配比分析

4.1.1 東吉嶼之供電方式與離島微電網現況說明

澎湖東吉嶼，島上由縣府自營發電，以柴油發電機為主要的供電來源，所需之燃油均仰賴船舶運輸，導致發電成本提高，同時供電不穩。該地全年日照時數可達2,182小時，非常適合使用太陽能發電。核研所針對澎湖東吉嶼離島已進行微電網示範系統的建置，提高再生能源利用率，降低離島地區供電成本。微電網系統可切換併網供電或獨立供電兩種模式，平時採併網供電模式，可與柴油發電機併網發電，以柴油發電機作為基載之傳統小型供電系統，結合太陽能發電與儲能系統，提供村民日常生活用電所需，以提高再生能源供電占比，進而

減少使用高成本燃油發電。

東吉嶼電力系統如圖3所示，為208 V/120 V三相四線式架構，島上設置有4台柴油發電機，位於港口邊的發電機廠房內，分別為3台200 kW及1台300 kW，裝置容量共900 kW，其中1台200 kW柴油發電機(#4發電機)具有調頻與穩壓裝置。由於日照充沛故太陽能發電為東吉嶼再生能源的主要項目，島上已設置86.4 kW太陽能發電系統，位於島上西北方的國家海洋國家公園管理處旁邊，由5組子系統構成，每組子系統包含6台MPPT充電控制器、1個DC 48 V 3000 Ah鉛酸電池所構成的直流電匯流排、以及3台5.76 kW雙向電力轉換器。其中雙向電力轉換器可將DC 48 V的電力，轉換成60 Hz、120 V的交流電力，供給至島上的電力系統中，亦可將島上的交流電力，轉換成直流電力，並儲存至鉛酸電池，而3台轉換器的直流端連接至相同的直流匯流排，交流端則分別連接至島上的R、S、T三相。

4.1.2 微電網再生能源容量與儲能配比程式驗證

為驗證本研究使用之計算方法確為可行，且能正確估算發電成本與再生能源占比，故以東吉嶼為探討案例，首先利用澎湖東吉嶼實際安裝再生能源與儲能容量為已知輸入資料，如

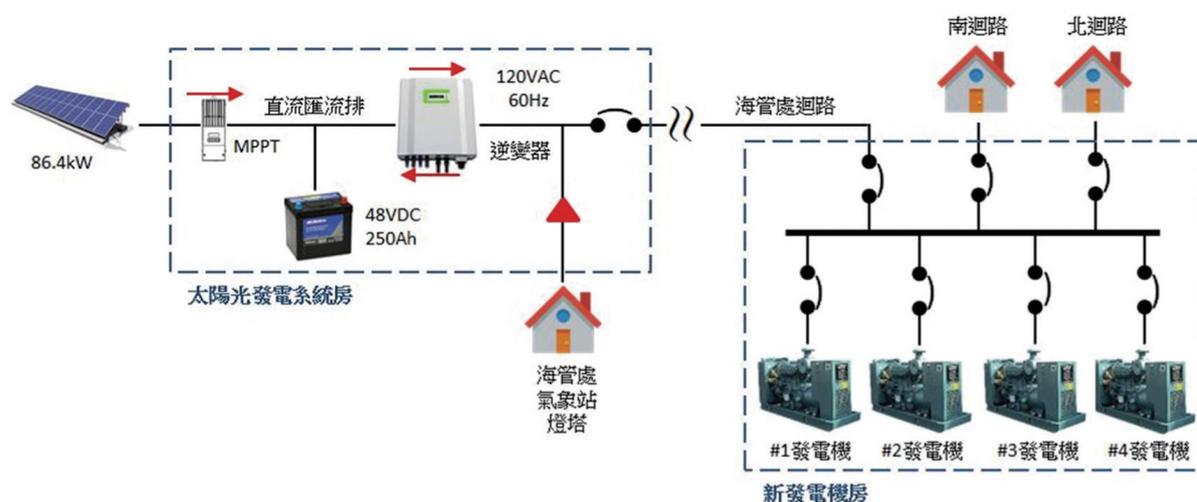


圖3 東吉嶼之微電網示範系統架構圖(本研究繪製)

圖4所示，輸入搜尋範圍為實際營運的資訊，用以驗證程式的準確性。太陽光電系統86 kW (使用年限20年)，儲能電池180 kWh (使用年限6年)，儲能轉換器75 kW (使用年限6年)，柴油機是現有裝置200 kW系統(使用年限20年)。參考能源局資料太陽光電系統，目前太陽光電系統單價約為每瓩57,400至79,700元，東吉嶼實際安裝太陽光電系統的價格每kW單價為75,231.5元。儲能電池以鉛酸電池為例，市售價格每kWh約為美金280元，約台幣8,666.7元。

儲能轉換器價格則參考廠商實際報價，其容量為250 kW，售價為1,120萬元，使用年限為6年，平均每kW單價為42,963元，如圖5所示。將目前東吉嶼所建置微電網之柴油機(11,500元/kW)、太陽能、儲能電池、儲能轉換器等成本資料輸入程式，參考中央氣象局所提供之日照資料，東吉嶼每日小時之全天空日射量(MJ/m²)資料(2017/12~2018/11)、負載資料(2017/12~2018/11)。以現階段技術而言，離島柴油發電燃料成本每度電約為20~25元，本案例以每度

設定機組參數限制值 詳細說明

3/3 各機組參數限制值

PV裝置容量 _最大值(kW)	風機裝置容量 _最大值(kW)	ESS電池容量 _最大值(kWh)	ESS轉換器容量 _最大值(kW)
86	0	180	75
PV裝置容量 _最小值(kW)	風機裝置容量 _最小值(kW)	ESS電池容量 _最小值(kWh)	ESS轉換器容量 _最小值(kW)
86	0	180	75

場域既有柴油機組容量
柴油機現有容量(kW)

200

確定

圖4 東吉嶼建置微電網之再生能源搜尋範圍(單點：現行機組容量參數)(本研究製作)

設定基本參數 詳細說明 參數參考值

2/3 參數種類 參數數值

PV,	單位成本(元/kW)	75231.5
PV,	使用年限(年)	20
PV,	系統性能比	0.9
PV,	傾斜增加日射倍率	1.08
風機,	單位成本(元/kW)	131130
風機,	使用年限(年)	20
風機,	單位容量(kW)	10
ESS電池,	單位成本(元/kWh)	8666.7
ESS電池,	使用年限(年)	6
ESS電池,	SOC上限	1
ESS電池,	SOC下限	0.5
ESS轉換器,	單位成本(元/kVA)	42963
ESS轉換器,	使用年限(年)	6
柴油機,	單位成本(元/kW)	11500
柴油機,	使用年限(年)	20
柴油,	單位發電成本(元/kWh)	20
柴油機,	輸出下限(kW)	5

確定

圖5 東吉嶼微電網之各項元件建置成本(本研究製作)

電柴油發電燃料成本作為售電價格基準，採固定20元(自由時報，2017)，計算結果如圖6所示：東吉嶼微電網之單位發電成本為17.6元，再生能源占比為20.7%，接近目前實際運轉值(台經院公開發表值17.1元，自由時報，2017)，完成所開發之配比程式的單位發電成本與再生能源占比驗證。

4.2 桶盤嶼離島微電網配比分析

4.2.1 桶盤嶼電力系統與負載分析

桶盤嶼用電規模較小且供電系統距離大型電力系統遠，因此使用柴油發電機供應島上用電，由島上的村辦公室、水電合作社負責柴油發電機運轉與維護，桶盤嶼機房內共配置四部220V/127V 180 kW柴油發電機，供應島上用戶與海淡廠之用電。島上目前供電狀況無規律性，係由操作人員定時查看發電機溫度，作為停機依據，海淡廠用電之發電機組，則由海淡廠人員自行操作，島上電力系統單線圖如圖7所示。本研究已蒐集107年度柴油發電機的發電資料，以及用戶與海淡廠的用電資料，統計分

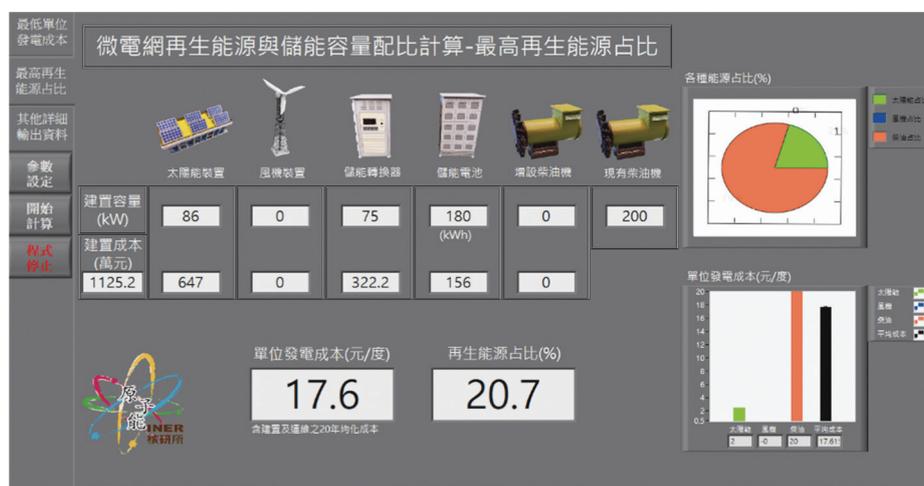


圖6 東吉嶼建置微電網之再生能源容量與儲能配比計算結果(本研究製作)

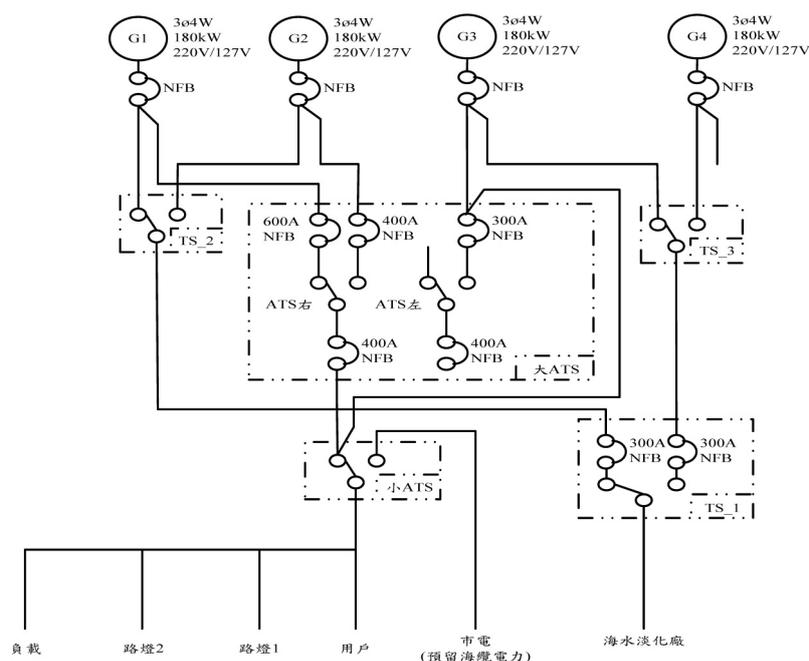


圖7 桶盤嶼發電機房之電力單線圖(本研究繪製)

析後可知桶盤嶼春季一般用戶負載約30 kW至45 kW，海水淡化廠約20 kW至30 kW，尖峰負載約75 kW。而夏季一般用戶負載約35 kW至60 kW，海水淡化廠約20 kW至35 kW，負載尖峰約95 kW。

4.2.2 桶盤嶼再生能源容量與儲能配比評估

透過前述整年度的負載彙整與分析後，得知若島上設置30 kWp太陽能發電設備，是不須搭配儲能系統。然而若要提升太陽能的滲透率，除了增加太陽能設備外，另須設置儲能系統，便可將白日再生能源高於負載使用的發電量，以儲能系統進行儲存，轉移至夜間放電供應住戶使用。同時，本研究亦參考中央氣象局的離島相關資料，彙整2007年~2014年的平均日射量與等效日照時數，平均日射量約為1,476.6 kWh/m²，每日等效日照時數約4.04小時，桶盤嶼與東吉嶼皆為澎湖離島，故微電網之分散式能源與儲能系統等建置成本沿用東吉嶼數據，如圖5所示。而桶盤嶼無論是發電、負載、日照與氣候各方面多與東吉嶼相似，故參考東吉嶼的再生能源與儲能轉換器裝置容量訂定搜尋的上限，額外另納風力發電設置的選項，進行再生能源的評估，如圖8所示。為能以PSO演算法求得最低發電成本或最高再生能源占比，故式(1)，(2)之參數設定為，時間t設

設定機組參數限制值 詳細說明

3/3 各機組參數限制值

PV裝置容量 _最大值(kW)	風機裝置容量 _最大值(kW)	ESS電池容量 _最大值(kWh)	ESS轉換器容量 _最大值(kW)
100	100	180	80
PV裝置容量 _最小值(kW)	風機裝置容量 _最小值(kW)	ESS電池容量 _最小值(kWh)	ESS轉換器容量 _最小值(kW)
0	0	0	0

場域既有柴油機組容量
柴油機現有容量(kW)

180

確定

圖8 桶盤嶼建置微電網之再生能源搜尋範圍(本研究製作)

定為1秒；粒子的位置x，由4個參數代表，包括：太陽光電裝置容量、風力發電裝置容量、儲能電池與儲能轉換器裝置容量，而一個粒子由此4個位置(裝置容量)所構成；速度v為單位時間內位置的變化量；r₁、r₂為介於0~1之間的隨機值，係由電腦亂數函式所產生，以保持群體的多樣性；自身經驗權重c₁設定為1；群體經驗權重c₂設定為1，此係認定自身與群體經驗權重相等。計算搜尋結果以圖9為例，預估投入1,408萬，即可以達到每度電新臺幣15元、再生能源滲透率可達32.7%，此例接近最佳狀況。以圖10為例，為了增加再生能源滲透率3.1%

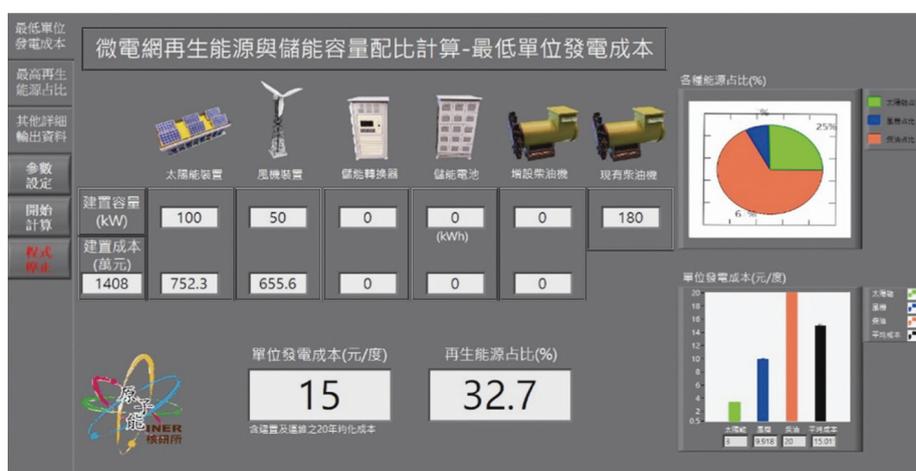


圖9 桶盤嶼以最低單位發電成本為目標，搜尋再生能源容量與儲能配比結果(本研究製作)

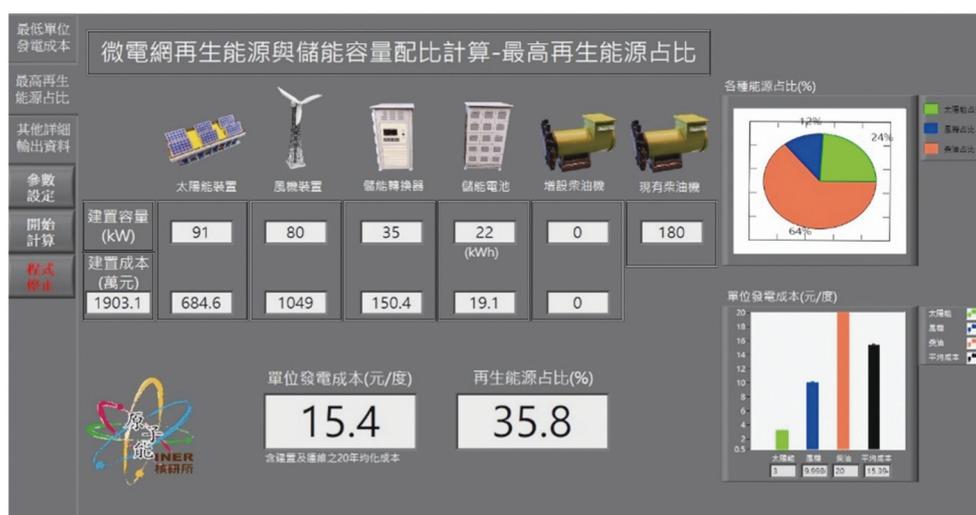


圖10 桶盤嶼以最高再生能源占比為目標，搜尋再生能源容量與儲能配比結果(本研究製作)

(達35.8%)，則預估需投入1,903.1萬(增加約500萬)，每度電新臺幣15.4元，要增加再生能源滲透率，必須使用較多且單位成本較高的儲能電池與儲能轉換器。

5. 結 論

本研究以再生能源所帶來的經濟效益為出發點，以C#與LabVIEW程式進行開發，採用粒子群最佳化演算法，發展出一種新的分散式能源與儲能系統裝置容量的評估技術，利用蒐集再生能源發電及負載用電資料，考量儲能電池及儲能轉換器容量與柴油機組等限制條件，即可由粒子群演算法進行分散式能源裝置容量計算評估。本研究首以東吉嶼作為計算方法可行性的驗證，透過已知的再生能源與儲能系統裝置容量，搭配整年度的負載用電資料，經由中央氣象局資料與各種設備設置成本，求解出單位發電成本與再生能源占比，皆與實際運轉資料與數據接近。其次，便以尚未設置分散式能源的桶盤嶼進行評估，透過整年度的用電資料與中央氣象局資料統計與分析，再設定分散式能源與儲能系統等設備的搜尋上下限及設備的設置成本，經由PSO演算法求解出符合最低發電成本或最高再生能源占比的設備配比建議，以作為離島微電網系統設計之重要參考。

針對本研究所開發之技術，未來可進一步精進的方向如：

1. 由於本研究所規劃之粒子群演算法，在搜索最佳解的過程中，其粒子數量及疊代次數已預設於程式中，因此當使用者所設定的搜索範圍愈大時，可考慮在搜索範圍確定後，由程式依範圍大小自動決定合適的粒子數量及疊代次數，以提高分析的準確性。
2. 目前開發之分散式能源裝置容量評估程式，主要是針對新建微電網場域所設計，未來可再加入現有再生能源設備一併進行評估分析。
3. 現有程式在進行裝置容量評估前需由使用者進行資料蒐集，包括全年每日每小時的日照、風速、負載用電資料等，由於該資料量較龐大，且部分地區可能取得不易，因此程式可調整為可依現有資料，自行選擇匯入3個月、6個月或1年的資料來進行分析，以減少在資料蒐集上的困難度。

參考文獻

- 台電委託研究計畫期末報告，2017。微電網示範區之合宜地點與試辦建置評估研究。
- 台電工程月刊，2017。望安島微電網系統配比與經濟效益評估。

交通部中央氣象局觀測資料查詢系統
網站。[http://e-service.cwb.gov.tw/
HistoryDataQuery/index.jsp](http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp)。

自由時報，2017。離島首座！澎湖東吉嶼微電
網商轉，2017-05-05 [https://news.ltn.com.
tw/news/life/paper/1099700](https://news.ltn.com.tw/news/life/paper/1099700)。

張政文，2016。含高占比綠能發電之離島電力
系統分析，國立中山大學電機工程學系研
究所，碩士論文。

經濟部能源局，2016。2016年能源產業技術白
皮書。

Shi, Yuhui and Russell Eberhart, 1998. A modified
particle swarm optimizer. Evolutionary
Computation Proceedings, 1998. IEEE World
Congress on Computational Intelligence.,
The 1998 IEEE International Conference on.
IEEE.

Capacity Planning of Distributed Generators and Energy Storage System for an Offshore Island Microgrid

Yih-Der Lee¹ Jheng-Lun Jiang¹ Chun Lung Chang^{2*}
Li-Yuan Liu³ Yung-Ruei Chang⁴

ABSTRACT

This study proposes the capacity planning of distributed energy resources (DERs) and energy storage system (ESS) for an offshore island microgrid by considering cost benefits assessment using Particle Swarm Optimization (PSO) method. First of all, the amount and duration of sunshine, wind speed have to be collected for an offshore island, as well as the power load consumption. The renewable power generation then can be estimated with various capacities of renewable energy. Secondly, the optimal capacity of distributed generators and energy storage system can be determined by using PSO to achieve the lowest generation cost of the diesel generators in the island microgrid. In this way, the DERs and ESS capacity assessment program is developed by C Programming Language. The human-machine interface is designed by LabVIEW with Dynamic Link Library (DLL) technology to allow user to operate in a friendly way, and to graphically present the results of the calculations. Finally, the generation cost of the Dongjiyu island microgrid is evaluated to verify the accuracy of the program developed. Then it is applied to the Tongpanyu island microgrid to calculate the optimal renewable generation and energy storage capacity, so that the lowest power generation cost can be obtained. This developed program can be used as a reference design for an offshore island microgrid.

Keywords: Particle Swarm Optimization, Micro grid, Distributed Energy Resources.

¹ Associate Researcher, Nuclear Instrumentation Division, Institute of Nuclear Energy Research.

² Associate Engineer, Nuclear Instrumentation Division, INER.

³ Assistant Engineer, Nuclear Instrumentation Division, INER.

⁴ Researcher, Nuclear Instrumentation Division, INER.

* Corresponding Author, Phone: +886-3-4711400#6344, E-mail: clchang@iner.gov.tw

Received Date: October 28, 2019

Revised Date: March 23, 2020

Accepted Date: April 17, 2020