

比較兩種解微電網電力負載削峰填谷問題之線性 規劃方法

許崇誠^{1*} 紀毓駿² 馬志傑¹

摘要

微電網系統整合各種分散式能源，為整合微電網之電力供須以滿足用戶最大用電需求，設計並使用電力排程來滿足此目標。由於電力排程是針對一日之每個時段，個別的做電力供需之撮合，可能會有部分供電吃緊時段用戶用電需求無法得到滿足，而其他部分供電寬鬆時段卻有多餘供電的情形。因此同時使用可轉移負載概念進行電力負載之削峰填谷作業，即在用戶之同意下，將用電需求從供電吃緊時段轉移到供電寬鬆時段，以達到滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求。本文使用線性規劃方法來完成電力負載之削峰填谷作業，並同時使用單形法與內點法來解電力負載削峰填谷作業，經比較，單形法能夠準確的完成削峰填谷作業，但對於高用戶數之削峰填谷作業而言，其執行時間便顯得太慢；相對的，內點法則有較好的執行效率，尤其在高用戶數；此外，內點法對削峰填谷作業首要目標，滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求，已幾乎等同於單形法，準確度幾乎都在99.9%以上。最後，本文建議可結合單形法及內點法，在低用戶數之電力負載削峰填谷作業執行單形法，而高用戶數之電力負載削峰填谷作業執行內點法，以盡可能兼具執行時間效率及準確度。

關鍵詞：微電網，削峰填谷，線性規劃

1. 前言

微電網(Micro-grid, MG)系統整合各種分散式能源(Distributed Energy Resource, DER)，如太陽能發電、風力發電、燃料電池、微渦輪機發電，以及分散式能源儲存(Distributed Energy Storage, DES)設備等，微電網系統可以協調各種分散式能源及能源儲存設備以產生和儲存電力，與傳統電網相比，微電網可避免輸電之電力損失並提高能源使用率。

核研所龍潭微電網實證場域(張永瑞等，2015)，其發電設備共470 kW包含太陽能100

kW、風力發電150 kW一座、25 kW一座、微渦輪機65 kW三座、柴油發電機200 kW一座、儲能系統100 kW/60 kWh一座、250 kW/90 kWh一座；為整合微電網之電力供需以及滿足用戶用電需求，並設計微電網日前市場交易平台，及使用電力排程來滿足此目標。

日前市場電力排程，能夠針對一日之每個時段(15分鐘一個時段)做電力供需之撮合，同時使用競價策略，在供電寬鬆時優先使用報價較低之發電設備，或在供電吃緊時優先滿足報價較高之用戶。然而，這對全日96時段而言卻未必最佳，例如以下情境：在大部分的時段

¹行政院原子能委員會核能研究所核能儀器組 副研究員

²行政院原能會核研所核能儀器組 助理工程師

*通訊作者電話: 03-4711400#6305, E-mail: worm@iner.gov.tw

收到日期: 2018年09月27日

修正日期: 2018年10月31日

接受日期: 2018年11月12日

中，所有用戶之用電需求都能得到滿足(甚至還有多餘之供電量)，然而在少部分的時段，有部分用戶之用電需求無法得到滿足。

為解決這個問題，使用可轉移負載(shift load)概念，進行電力負載之削峰填谷方法來完成電力排程。亦即在用戶之同意下，將用電需求從供電吃緊時段，轉移到供電寬鬆時段，以達到滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求。

由於電力負載之削峰填谷是頗為複雜的作業，因此使用線性規劃方法來完成；線性規劃(方述誠，1993；翁偉泰，2011)由George. B. Dantzig教授所發表，是處理最佳化問題的重要方法，因線性規劃問題之最佳解(如果存在)，必定是可行解所形成“凸面體”一個端點，因此Dantzig教授同時設計單形法(simplex method)來解線性規劃問題。然而當問題變大時，尤其限制式數目增加時，端點會以驚人的速度增加，因此這類屬於端點法的單形法一般只用於中小型問題之求解。在電力負載之削峰填谷作業中，由於定義全日共96時段，因此在線性規劃過程中，變數與限制式數目很多(對每一個用戶每一個時段均定義負載用電需求轉出量與轉入量等兩個變數；因此，1個用戶之線性規劃模組就有約200個變數與限制式，而30個用戶之線性規劃模組更達約6,000個變數與限制式)，經實際測試，在5個用戶下求解時間約1秒，而30個用戶則超過400秒。

為降低電力負載之削峰填谷作業時間，另尋找及使用內點法來解線性規劃；內點法是在可行解“凸面體”內部朝邊界尋找最佳解，由於不需要計算尋找端點，因此當問題變大時，求解時間比較不受影響，經實際測試，30個用戶求解時間不到100秒。

本文結構如下：第2章問題描述，針對微電網電力負載削峰填谷問題做描述；第3章解決方法，描述使用線性規劃模型來解決電力負載削峰填谷問題；第4章結果分析，包括單形法與內點法完成電力負載削峰填谷線性規劃求解與

分析；第5章為結論。

2. 問題描述

本章描述微電網電力負載削峰填谷問題；首先簡述微電網系統架構與電力排程程序，最後再描述電力負載削峰填谷問題。

2.1 微電網系統架構

微電網架構示意圖(Ng and Shatshat, 2010)，如圖1，包括分散式能源、分散式能源儲存、電力負載(Load, LD)、能源管理系統(Energy Management System, EMS)等設備。微電網可以在公用電網(指外電)、以及微電網內之分散式能源、分散式能源儲存、電力負載設備之間自由調派能源，而微電網能源管理系統則監視運轉狀況，並從分散式能源、分散式能源儲存設備中做能源調度，以提供電力負載設備使用。微電網主要設備說明(Chou, 2013)如下：

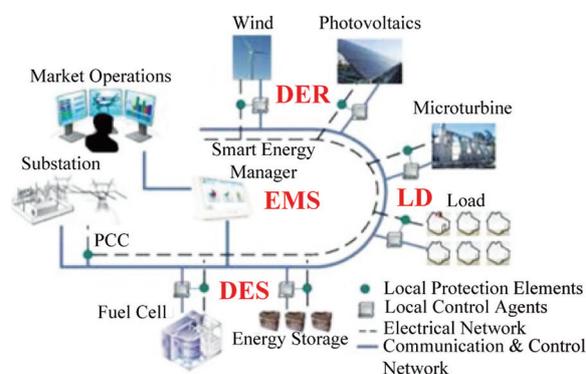


圖1 微電網架構示意圖(Ng and Shatshat, 2010)

- (1) 分散式能源：DER通常是小規模(例如，千瓦等級)供電設備(或稱供電設備)，可以直接連接到負載饋線或配電系統；DER可以是太陽能發電、風力發電、微渦輪機發電等設備。
- (2) 分散式能源儲存：當公用電網能源較便宜或微電網DER有過多發電時，DES可以儲存能源，使微電網更具成本效益。在需求高峰時，DES也可以放電而視為額外的DER。

DES的整體能源管理目標取決於微電網的運轉模式，在MG孤島模式，DES可以回送能源，以盡量減少對用戶的干擾，並保持系統的可靠性；而在併網模式，DES主要負責維持穩定的輸出能源和低成本儲存。

- (3) 電力負載：即用戶之電力負載。從負載的關鍵性來看，可分為關鍵負載及非關鍵負載；原則上，關鍵負載必須要能完全滿足，而非關鍵負載則可能經由競價方式獲得滿足，即負載成本減少，獲得滿足之需求層級也相對的降低。另外，從負載的可轉移性來看，可分為可轉移負載及不可轉移負載，而可轉移負載可以提供微電網進行削峰填谷，以避免微電網用電之尖峰及增進微電網用電之使用率。
- (4) 能源管理系統：EMS作為MG內分散式網路運轉員、市場運轉員間的介面。原則上，EMS內建於微電網控制中心以作為資訊控制中心。

2.2 電力排程程序

為整合微電網之電力供需及滿足用戶用電需求，設計微電網日前市場交易平台並使用電力排程程序。

日前市場交易平台係參考台電公司之前日市場模式(胡宗豪等，2014)而建立主要功能是在電力調度日(D day)之前一日(D-1 day)，運用收集的資料來建立電力調度計畫，以提供D day之電力調度執行。

然而，在考量用戶主動參與之未來趨勢，日前市場交易平台增加用戶投標階段，並增列時間電價公告階段計算D day之每個時段時間電價，作為用戶投標之參考。

日前市場交易平台示意圖，如圖2，包括DER、EMS、LD等三類代理人，並包括需量公告、供電設備投標、時間電價公告、用戶投標、排程公告等五個階段：

- (1) 需量公告：D-1 day 10:00前，EMS代理人計算D day用戶每個時段用電預測，並將用電

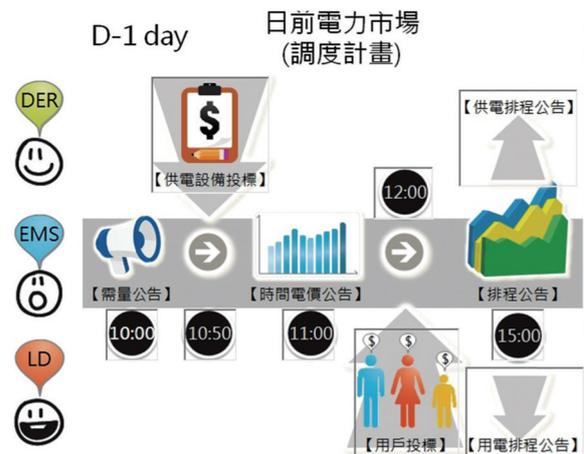


圖2 電力日前市場交易平台示意圖(本研究繪製)

預測資料傳送給所有參與投標之DER代理人。

- (2) 供電設備投標：D-1 day 10:00至10:50，各DER代理人參考用戶用電預測資料，提出其供電資料，並傳送給EMS代理人。
- (3) 時間電價公告：D-1 day 10:50至11:00，EMS代理人運用各DER之供電資料，計算出時間電價，並傳送給所有參與投標之LD代理人。
- (4) 用戶投標：D-1 day 11:00至12:00，各LD代理人參考時間電價資料，提出其用電資料，並且傳送給EMS代理人。
- (5) 排程公告：D-1 day 12:00至15:00，EMS代理人運用各DER之供電資料以及各LD之用電資料，計算/建立D day之電力調度計畫資料，並傳送給各DER及各LD代理人。

電力排程程序，即撮合微電網供需之程序，如圖3，在電力日前市場交易平台之排程公告階段時，EMS代理人已經完成每個供電設備/用戶每個時段之供電資訊與用電資訊之收集，並開始針對每個時段之供電與用電做撮合。

撮合方法是根據各類供電/用電總量(包括



圖3 電力排程程序(本研究繪製)

DER供電、儲能放電、外電供電等三類供電及關鍵負載、非關鍵負載、儲能充電、外電饋電等四類用電)，以特定供電/用電次序做排程，達成提供最大供電及滿足最大用電需求之功率供需平衡要求，且在此要求之前提下，使用最低報價之供電設備及滿足最高報價之用戶之競價策略。供電/用電之次序以及競價之說明如下：

- (1) 供電寬鬆時，供電使用次序為DER供電最優先，其次為儲能放電，最次為外電供電；此時用電需求會全數滿足。另外，在排程中僅能使用部分DER供電時，依DER競價原則，優先使用報價較低之DER供電。
- (2) 供電吃緊時，用電滿足次序為關鍵負載最優先，其次為非關鍵負載，再次為儲能充電，最次為外電饋電；此時供電會全數使用。另外，在排程中僅能滿足部分非關鍵負載時，依非關鍵負載競價原則，優先滿足報價較高之非關鍵負載。

2.3 電力負載削峰填谷

電力排程程序針對每個時段，以特定供電/用電之次序，來達成提供最大供電及滿足最大用電需求之要求；然而，這對全日96時段而言，卻未必是達到最大供電以及滿足最大用電需求。

考量以下案例：在大部分的時段(供電寬鬆時段)中，所有用戶之用電需求都能得到滿足(甚至還有多餘之供電量)，然而在少部分的時段(供電吃緊時段)，有部分用戶之用電需求無法得到滿足。在此案例中，如能對電力負載做適當的削峰填谷作業，也就是將供電吃緊時段之部分用電需求適當的轉移到供電寬鬆時段；在電力排程時，供電吃緊時段不會減少用戶用電需求之滿足，而在供電寬鬆時段能夠滿足更多的用戶用電需求。

如圖4，在微電網供需撮合前進行電力負載削峰填谷，藉著將用戶所同意的可轉移負載之用電需求，從供電吃緊時段轉移到供電寬鬆

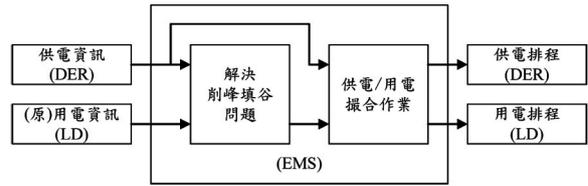


圖4 電力排程程序-利用電力負載削峰填谷作業(本研究繪製)

時段，來達到滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求。

此外，在轉移用電需求時要選擇能對全部用戶產生最大的總投標報價節省量，以期在滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求前提下，降低所有用戶用電花費之總和；其方法為：

- (1) 當用戶之用電需求轉出，有多個供電吃緊時段可選擇時，優先選擇報價較高時段做需求之轉出。
- (2) 當用戶之用電需求轉入，有多個供電寬鬆時段可選擇時，優先選擇報價較低時段做需求之轉入。

3. 解決方法

由於電力負載之削峰填谷是頗為複雜的作業，因此在實施的層面上使用線性規劃方法來完成，如圖5，利用供電資訊與用電資訊，使用線性規劃方法來得到電力負載之削峰填谷量(用電調整資訊)，即供電吃緊時之用電需求轉出量與供電寬鬆時之用電需求轉入量；再結合原用電需求資訊、用電需求轉出量、用電需求轉入量，計算出新用電需求資訊。



圖5 電力負載削峰填谷作業(本研究繪製)

以下以電力負載削峰填谷小案例(以下簡稱小案例)做詳細說明；如圖6，小案例僅包括1個供電設備、2個用戶，而將全日僅區分成2個時段。

本章依線性規劃方法，分別描述電力負載



註1：供電能力與用電需求單位kW，投標價格單位元。
 註2：輸出資料是以變數型態存在(變數X1~X8均大於等於0)。

圖6 電力負載削峰填谷小案例(本研究繪製)

削峰填谷作業之輸入與輸出資料、目標式、與限制式，並使用小案例進一步說明。

3.1 輸入與輸出資料說明

電力負載削峰填谷作業之輸入與輸出資料如下：

(1) 輸入資料：

(A) 供電(能力)資訊：

- (a) 每一個供電設備每一個時段之供電能力預測，如小案例之供電預測欄。
- (b) 每一個供電設備每一個時段之投標價，如小案例之投標價格欄。(註：供電投標價並非電力負載削峰填谷作業之參數)

(B) 用電(需求)資訊：

- (a) 每一個用戶每一個時段之關鍵負載用電需求，如小案例之基礎需求欄。
- (b) 每一個用戶每一個時段之非關鍵負載用電需求，如小案例之增額需求欄。
- (c) 每一個用戶每一個時段之投標價，如小案例之投標價格欄。
- (d) 每一個用戶每一個時段，用戶同意之最大用電需求可轉出量，如小案例之允許轉出欄。可轉移負載之用電需求即用戶同意之最大用電需求可轉出量與轉入量。

(e) 每一個用戶每一個時段，用戶同意之最大用電需求可轉入量，如小案例之允許轉入欄。可轉移負載之用電需求即用戶同意之最大用電需求可轉出量與轉入量。

(2) 輸出資料：用電(需求)調整資訊：

- (A) 每一個用戶，每一個時段之用電需求轉出量，如小案例之變數X5~X8(變數X5~X8均大於等於0)。
- (B) 每一個用戶，每一個時段之用電需求轉入量，如小案例之變數X1~X4(變數X1~X4均大於等於0)。

須注意，調整後的新負載用電需求，為調整前的原負載用電需求，加上負載用電需求轉入量，再減負載用電需求轉出量；以小案例說明：用戶1時段1之調整前原用電負載為15 kW，調整後負載用電需求轉入量為X1 kW，負載用電需求轉出量為X5 kW，即調整後新用電負載為(15+X1-X5) kW

3.2 目標式說明

電力負載削峰填谷作業之目標，包括：

- (1) 目標1：滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求，以下以小案例詳細說明：
 - (A) 未削峰填谷狀態：時段1與時段2之總供電能力均為20 kW，時段1之總用電需

求為30 kW，時段2之總用電需求為14 kW。也就是說，未經削峰填谷時，時段1為供電吃緊時段，排程後可供電與用電量為20 kW，時段2為供電寬鬆時段，排程後可供電與用電量為14 kW，即可滿足之總用電需求為34 kW。

- (B) 削峰填谷進行，以及與未削峰填谷之比較：當用戶1從時段1移動1 kW之用電需求到時段2時，時段1之總用電需求為29 kW，時段2之總用電需求為15 kW，排程後時段1可供電與用電量仍為20 kW，但時段2可供電與用電量增為15 kW，即可滿足之總用電需求為35 kW。也就是說，經削峰填谷作業後，排程後被滿足之總用電需求量增加1 kW。

- (C) 結論：在不違反削峰填谷原則(即削過頭或填過頭)下，排程後被滿足之總用電需求增加量，等於所有用戶所有時段之用電需求轉入量總和，即 $(X1 + X2 + X3 + X4)$ kW；目標1如式(1)。

$$\text{Goal1: } X1 + X2 + X3 + X4 \quad (1)$$

- (2) 目標2：藉由滿足所有用戶之最大總投標報價節省量，來降低所有用戶用電花費之總和，以下以小案例說明：

- (A) 未削峰填谷狀態：未經削峰填谷時，當滿足用戶1全部用電需求(時段1需求15 kW，時段2需求7 kW，共22 kW)時，需花費183.5元 $(15 \times 9.2 + 7 \times 6.5)$ 。
- (B) 削峰填谷進行，以及與未削峰填谷之比較：當用戶1從時段1移動1 kW之用電需求到時段2時，用戶1滿足相同的總用電需求(時段1需求14 kW，時段2需求8 kW，共22 kW)需求時，僅需花費180.8元 $(14 \times 9.2 + 8 \times 6.5)$ 。也就是說，在滿足用戶1相同的總用電需求下，總投標報價節省量為2.7元 $(9.2 - 6.5)$ ，即用戶1用電需求轉出時段之報價減去用電需求轉入時段之報價。

- (C) 結論：所有用戶之總投標報價節省量，等於所有用戶所有時段之用電需求轉出量與其該用戶該時段之報價乘積之總和，減去所有用戶所有時段之用電需求轉入量與其該用戶該時段之報價乘積之總和，即 $(-9.2X1 - 6.5X2 - 9X3 - 6X4 + 9.2X5 + 6.5X6 + 9X7 + 6X8)$ 元；目標2如式(2)。

$$\text{Goal2: } -9.2X1 - 6.5X2 - 9X3 - 6X4 + 9.2X5 + 6.5X6 + 9X7 + 6X8 \quad (2)$$

最後整合此兩個目標，由於兩個目標中，以目標1為第一優先，因此整合/建立目標式時，加大目標1權重值為目標2的M倍(在此，設定M為10000)，即定義目標式為目標1之M倍加上目標2；如式(3)。

$$\text{Goal: } \text{Goal1} \times M + \text{Goal2} \quad (3)$$

即在小案例中，整合之目標式為式(4)。

$$\text{maximum: } 9990.8X1 + 9993.5X2 + 9991X3 + 9994X4 + 9.2X5 + 6.5X6 + 9X7 + 6X8 \quad (4)$$

3.3 限制式說明

電力負載削峰填谷作業之限制式，包括：

- (1) 單一用戶單一時段限制條件：對於單一用戶單一時段，不論是用電需求轉入量或是用電需求轉出量，均有一個上限，例如小案例用戶1時段1為供電吃緊時段，有最大10 kW之移出可能量(時段1總供電能力20 kW，總用電需求為30 kW)，用電需求轉出量(X5)為此最大移出可能量與該時段該用戶所同意之最大用電需求可轉出量之最小值，而用電需求轉入量(X1)上限為0；相同的，用戶1時段2為供電寬鬆時段，有最大6 kW之移入可能量(時段2總供電能力20 kW，總用電需求為14 kW)，用電需求轉入量(X2)為此最大移入可能量與該時段該用戶所同意之最大用電需

求可轉入量之最小值，而用電需求轉出量(X6)上限為0。

在小案例中，本類(第1類)限制式為式(5)~(12)。

(用戶1時段1轉入量限制條件)

$$X1 \leq 0 \quad (5)$$

(用戶1時段2轉入量限制條件)

$$X2 \leq 6 \quad (6)$$

(用戶2時段1轉入量限制條件)

$$X3 \leq 0 \quad (7)$$

(用戶2時段2轉入量限制條件)

$$X4 \leq 6 \quad (8)$$

(用戶1時段1轉出量限制條件)

$$X5 \leq 10 \quad (9)$$

(用戶1時段2轉出量限制條件)

$$X6 \leq 0 \quad (10)$$

(用戶2時段1轉出量限制條件)

$$X7 \leq 10 \quad (11)$$

(用戶2時段2轉出量限制條件)

$$X8 \leq 0 \quad (12)$$

- (2) 所有用戶單一時段限制條件：對於單一時段，所有用戶之用電需求轉入量或是用電需求轉出量總和，均有一個上限，例如小案例時段1為供電吃緊時段，有最大10 kW之移出可能量，所有用戶該時段之用電需求轉出量總和(X5 + X7)為此最大移出可能量，而用電需求轉入量總和(X1 + X3)上限為0；相同的，時段2為供電寬鬆時段，有最大6 kW之移入可能量，所有用戶該時段之用電需求轉入量總和(X2 + X4)為此最大移入可能量，而用電需求轉出量(X6 + X8)上限為0。

在小案例中，本類(第2類)限制式為式(13)~(16)。

(時段1轉入量限制條件)

$$X1 + X3 \leq 0 \quad (13)$$

(時段2轉入量限制條件)

$$X2 + X4 \leq 6 \quad (14)$$

(時段1轉出量限制條件)

$$X5 + X7 \leq 10 \quad (15)$$

(時段2轉出量限制條件)

$$X6 + X8 \leq 0 \quad (16)$$

- (3) 單一用戶所有時段限制條件：對於單一用戶，所有時段之用電需求轉入量總和，與用電需求轉出量總和相等，例如小案例用戶1所有時段之用電需求轉入量總和(X1 + X2)與所有時段之用電需求轉出量總和(X5 + X6)相等。

在小案例中，本類(第3類)限制式為式(17)、(18)。

(用戶1限制條件)

$$X1 + X2 - X5 - X6 = 0 \quad (17)$$

(用戶2限制條件)

$$X3 + X4 - X7 - X8 = 0 \quad (18)$$

4. 結果分析

本章分別以單形法及內點法(使用主仿射比例法, primal affine scaling method)等兩種演算法來解電力負載削峰填谷作業之線性規劃問題。由於軟體程式是自行依這兩種演算法開發，因此可以直接運用，並整合於同樣是自行開發之日前市場電力排程程序之中。

表1與表2分別是以單形法及內點法解1至30個用戶在全日96時段進行電力負載削峰填谷作業，執行時間效率及準確度之比較。

- (1) 從執行時間效率看(時間效率定義為單形法與內點法執行時間比)：內點法在較多用戶下遠勝過單形法，特別在28個用戶數之案例，效率高達約12.5倍。

進一步觀察，單形法及內點法之執行迴圈數，很明顯單形法執行迴圈數大略是漸增的，但內點法執行迴圈數卻不規則，有時迴圈數會相差數倍；執行迴圈數越少，執行時間越少。從結果來說，在高用戶數執行內點法效率極高，尤其當執行迴圈數少時(惟執行迴圈數是不可控制的)。

- (2) 再從準確度看(準確度定義為內點法與單形法之總用電需求增加量及總投標報價節省量

表1 單形法及內點法削峰填谷作業效率比較(本研究整理)

用戶數	單形法		內點法		效率	用戶數	單形法		內點法		效率
	時間(秒)	迴圈(次)	時間(秒)	迴圈(次)			時間(秒)	迴圈(次)	時間(秒)	迴圈(次)	
1	0	34	1	4	100.00%	16	54	427	19	23	284.21%
2	1	102	0	21	100.00%	17	60	435	15	17	400.00%
3	0	97	1	8	100.00%	18	78	490	14	14	557.14%
4	1	145	1	24	100.00%	19	86	476	10	10	860.00%
5	1	148	1	23	100.00%	20	111	520	26	25	426.92%
6	3	179	3	26	100.00%	21	121	536	23	18	526.09%
7	4	215	1	9	400.00%	22	140	554	23	16	608.70%
8	6	224	2	13	300.00%	23	169	586	31	21	545.16%
9	9	248	3	11	300.00%	24	198	621	26	16	761.54%
10	12	278	6	19	200.00%	25	200	602	36	21	555.56%
11	16	291	3	8	533.33%	26	246	645	26	10	946.15%
12	24	360	4	9	600.00%	27	276	665	27	10	1022.22%
13	29	372	12	22	241.67%	28	339	761	27	11	1255.56%
14	35	386	17	29	205.88%	29	372	741	54	21	688.89%
15	41	379	12	17	341.67%	30	418	800	93	32	449.46%

註：時間量測最小單位為秒，另外計算效率時執行時間不足1秒則當作1秒。

比)，內點法在目標1滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求方面，總用電需求增加量已幾乎等同於單形法，準確度幾乎都在99.9%以上；而在目標2滿足所有用戶之最大總投標報價節省量方面，總投標報價節省量則略為遜色，但也多數(20組案例)在95%以上。

此外，為了追求電力負載削峰填谷作業之執行時間效率及準確度，建議可結合單形法及內點法，在低用戶數(6個用戶以下)之電力負載削峰填谷作業執行單形法，而高用戶數(7個用戶以上)之電力負載削峰填谷作業執行內點法，以盡可能兼具執行時間效率及準確度。

5. 結 論

日前市場電力排程針對一日之每個時段做電力供需之撮合，然而為了滿足所有用戶全日

96時段之最大總用電需求，使用可轉移負載概念進行電力負載之削峰填谷作業，並使用線性規劃方法來完成設計。

本文同時使用單形法與內點法來解電力負載削峰填谷作業，單形法雖然能夠準確的完成削峰填谷作業，然而對於高用戶數之削峰填谷作業而言，其執行時間便顯得太慢；相對的，內點法相較於單形法則有較好的執行效率，尤其在高用戶數時執行效率會更好，此外，內點法對削峰填谷作業首要目標，滿足所有用戶全日96時段之最大總用電需求，已幾乎等同於單形法，準確度幾乎都在99.9%以上。

最後，本文建議可結合單形法及內點法，在低用戶數之電力負載削峰填谷作業執行單形法，而高用戶數之電力負載削峰填谷作業執行內點法，以盡可能兼具執行時間效率及準確度。

表2 單形法及內點法解削峰填谷作業準確度比較(本研究繪製)

用戶數	單形法		內點法		準確度	
	總用電需求 增加量 (kW × 時段)	總投標報價 節省量 (元)	總用電需求 增加量 (kW × 時段)	總投標報價 節省量 (元)	總用電需求 增加量	總投標報價 節省量
1	30	91.1	29.91	71.37	99.69%	78.35%
2	115	336.5	114.95	324.62	99.96%	96.47%
3	97	294.44	96.99	258.43	99.99%	87.77%
4	230	673.2	229.97	651.32	99.99%	96.75%
5	200	604.4	199.97	574.33	99.99%	95.02%
6	345	1,009.5	344.96	979.59	99.99%	97.04%
7	315	943.5	314.97	899.87	99.99%	95.38%
8	460	1,346.5	459.94	1,294.02	99.99%	96.10%
9	430	1,279.5	429.96	1,208.28	99.99%	94.43%
10	575	1,682	574.95	1,616.15	99.99%	96.09%
11	545	1,616	544.95	1,548.95	99.99%	95.85%
12	690	2,018.5	689.93	1,930.24	99.99%	95.63%
13	660	1,951	659.95	1,888.40	99.99%	96.79%
14	805	2,355.5	804.96	2,274.78	100.00%	96.57%
15	775	2,288	774.94	2,183.34	99.99%	95.43%
16	920	2,687	919.95	2,547.90	99.99%	94.82%
17	890	2,626	889.96	2,496.58	100.00%	95.07%
18	1,035	3,028	1,034.90	2,859.68	99.99%	94.44%
19	1,005	2,964	1,004.94	2,824.23	99.99%	95.28%
20	1,150	3,369	1,149.95	3,183.81	100.00%	94.50%
21	1,120	3,298	1,119.92	3,226.50	99.99%	97.83%
22	1,265	3,702	1,264.95	3,513.89	100.00%	94.92%
23	1,235	3,638	1,234.96	3,534.84	100.00%	97.16%
24	1,380	4,040	1,379.95	3,806.71	100.00%	94.23%
25	1,350	3,970	1,349.89	3,811.03	99.99%	96.00%
26	1,495	4,374	1,494.93	4,093.70	100.00%	93.59%
27	1,465	4,307	1,464.90	4,223.11	99.99%	98.05%
28	1,610	4,713	1,609.91	4,430.64	99.99%	94.01%
29	1,580	4,644	1,579.86	4,453.88	99.99%	95.91%
30	1,725	5,050	1,724.91	4,895.72	99.99%	96.95%

參考文獻

方述誠，1993。線性規劃(Linear Programming)，
數學傳播，第七卷第一期。
胡宗豪、吳進忠、蔡金助、黃維綱與徐坤璋，
2014。臺灣電力系統日前市場最佳化程式

開發，台電工程月刊第796期。
翁偉泰，2011。數學規劃(一) Mathematical
Programming (I)上課教材。
張永瑞、姜政綸與李奕德，2015。微電網發展
前景及技術剖析，臺灣能源期刊第二卷第
三期。

Chou, I-Hsin, 2013. Multi-agent Energy-Saving Operation Processes for the Micro-grid Energy Management System, International Journal of Smart Grid and Clean Energy.

Ng, E.J. and El-Shatshat, 2010. Multi- microgrid control systems (MMCS), Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE.

Comparison of Two Methods to Solve Linear Programming for Load Shifting Problem on Micro-grid

Chong-Cheng Hsu^{1*} Yu-Chin Chi² Chih-Chieh Ma¹

ABSTRACT

Micro-grid integrates various distributed energy resources. To integrate the micro-grid power supply and demand, and to meet consumers' power demand, power scheduling process was used to meet the goal. Power scheduling process integrates the micro-grid power supply and demand in each time segment. There may be the condition that some heavy load time segments that consumers' power demand cannot be met, and some light load time segments that excessive power is not used. Therefore, it performs load shifting operation. That is, with the consent of the power consumer, it shifts the power demand from heavy load time segments to light load time segments to match the power supply and demand for all time segments. In this paper, linear programming is used to carry out load shifting operation. And Simplex and Interior Point methods are used to solve load shifting operation. Simplex method can accurately complete load shifting operation, but it is too slow for large amount of power consumer. On the contrary, Interior Point method is more efficient. The accuracy of Interior Point method is over 99.9% for primary goal of load shifting operation. It is equivalent to Simplex method. Therefore, this paper suggests combining Simplex and Interior Point methods. Simplex method is used for small amount of power consumer, and Interior Point method is used for large amount of power consumer, to get better efficiency and accuracy.

Keywords: Micro-grid, Load Shifting, Linear Programming.

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

² Assistant Engineer, Nuclear Instrumentation Division, INER.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-4711400#6305, E-mail: worm@iner.gov.tw

Received Date: September 27, 2018

Revised Date: October 31, 2018

Accepted Date: November 12, 2018