

## 輔助電熱器位於集熱器下方的太陽能熱水器

### A solar heating system with electric heater below the solar collectors

卓胡誼

Yi Jwo-Hwu

崑山科技大學電機系

Department of Electric Engineering Kun Shan University of Technology

#### 摘要

目前，由太陽光電能系統提供電力仍然太過昂貴，而且效率偏低。另一方面，高效率的太陽能熱水系統則一直被期待能夠研發成功。本研究提出一種輔助電熱器位在集熱器下方的太陽能熱水系統，其主要優點在於：可以使太陽光電能系統的成本大幅降低，並使太陽能的利用率大為提升。

關鍵字：太陽能熱水系統、太陽光電能系統

#### Abstracts

It's too expensive to supply electricity from a photovoltaic solar energy system. In addition, the efficiency of a photovoltaic solar energy system is very poor. On the other hand, an efficient solar water heating system is to be desired. In this project, a solar heating system with electric heater below the solar collectors is proposed. The dominant profit of this method is that the cost of a photovoltaic solar energy system will be decreased and the utilization of solar energy will be increased.

Keywords: The solar water heating systems, the photovoltaic solar energy systems

#### 一、研究背景與目的

依據能源組織的調查，以目前已知的蘊藏量與消耗量估算，石油再過 34 年就會用完，天然氣再過 57 年也會用完，若不回收再提煉，核能發電所用的鈾再過 65 年就會用完，而煤再過 174 年也會用完[1-2]。

因為消耗性能源必定有用完的一天，所以，用再生能源取代現有的消耗性能源是未來必定要達成的目標。不過，目前再生能源的發電成本仍然高於負責提供基載的火力與核能發電，再加上再生能源的技術一直沒有顯著的突破，因此，許多人仍然對再生能源心

存排斥而使其推廣困難[3-6]。

但是，10 年、20 年以後，當石油、天然氣等消耗性能源的蘊藏量快速減少、即將耗盡的時候，其價格必定飛快地暴漲。因此，如果現在不能逐步地以再生能源取代部分的消耗性能源，則對國民生計與工商發展必定會產生嚴重而致命的影響。所以，政府特別針對太陽能熱水系統以及太陽光電能系統的裝設費用給予補助。可是，目前，由太陽光電能系統提供電力仍然太過昂貴，而且效率偏低，以至於裝設的數量非常少。依據行政院 88 年 8 月 5 日第 2640 次院會通過之『全國能源會議結論具體行動方案』，到 91 年的目標容量只有 1000KW[2]，而且這還是規劃希望能達到的目標值，至於實際上真正的裝設數量是否能達到上述的預計目標，則仍有待觀察。另一方面，太陽能熱水系統的裝設數量雖然較多，到 90 年 3 月的裝置面積為 980000 平方公尺，但與其他先進國家比較，普及率仍然偏低[2]。因此，如何提高太陽能的利用率，讓民眾可以廣為接受，就成為目前的當務之急。

所以，本研究的主要目的在於：提出一種輔助電熱器位在集熱器下方的太陽能熱水系統，以太陽光電能系統所產生的電力直接作為輔助電熱器的電源，可以使太陽光電能系統的成本大幅降低，並使太陽能熱水系統的效率提升，提高太陽能的利用率。本文內容已經向經濟部智慧財產局申請專利。

#### 二、現有的太陽光電能系統

太陽光電能系統在國內的設置數量非常少，其最主要的原因在於：以太陽光電能系統提供電力仍然太過昂貴，而且效率偏低。此一問題的癥結在於：太陽光電能系統被賦予過高的期望，被要求能像市電一般好用。因此，太陽光電能系統除了光電板以外，通常還需要蓄電池、轉換器等裝置，以便將光電板所產生

的直流電轉換成交流電，並調節光電板因日照強度不同所產生的不同電壓[7-21]。

假設所裝設光電板的發電量是 $P$ ，包含蓄電池、轉換器等裝置的裝置費用是 $C$ ，蓄電池的效率是 $0.8$ ，轉換器的效率是 $0.8$ ，因此，所能提供給負載的電力是 $0.64P$ ，故每單位電力的成本是 $(C/0.64P) = 1.5625(C/P)$ ，目前 $1\text{KW}$ 太陽光電能系統的裝置費用約為 $30$ 萬元，政府最高可補助一半，故民眾需花費 $15$ 萬元。以一年產生 $2000\text{KWH}$  ( $250$ 天 $\times 8$ 小時 $\times 1\text{KW}$ ) 電力，每度電 $2.3$ 元計算， $10$ 年共可節省電費四萬六千元，故民眾花費的 $15$ 萬元完全無法回收。在沒有經濟誘因的情況下，純粹以環保訴求為號召，自然是乏人問津。

### 三、直接應用的太陽光電能系統

如前一節所述：太陽光電能系統被賦予過高的期望，被要求能像市電一般好用。因此，太陽光電能系統除了光電板以外，通常還需要蓄電池、轉換器等裝置，已至於成本偏高，效率偏低。對於國外在沙漠地區發電廠規模的太陽光電能系統而言，這些裝置確有其必要性；但在國內，因為寸土寸金，很難找到可以設置大規模太陽光電能系統的廠址；而對一般民眾而言，因為所能裝設的面積非常有限，所以可以產生的電力也不會很多，再加上民眾可能不願投入太多的裝設費用。因此，蓄電池、轉換器等裝置是否真的是不可或缺，恐怕仍是有待商榷。

本研究提出直接應用的模式，在不需蓄電池、轉換器等裝置的情況下，將可以使太陽光電能系統的成本大為降低。因為一般民眾所能裝設的面積非常有限，可以產生的電力也不會很多，所以本研究並不期望如此小規模的太陽光電能系統可以應付所有的負載，相反地，本研究只要求如此小規模的太陽光電能系統負責一個負載，也就是提供盥洗用熱水的電熱器。

選擇此一負載的原因在於：電熱器可以用交流電當電源，也可以用直流電當電源，而且在不超過其耐壓的情況下，可以忍受非常大的電壓變動，電壓大發熱量多，電壓小發熱量少。因此，太陽光電能系統可以直接供電給電熱器，而蓄電池、轉換器等裝置就可以是不需要的額外裝備。

這樣的安排有非常大的好處，第一、蓄電池、轉換器等裝置的費用大約佔整個太陽光電能系統裝置費用的一半，在不需蓄電池、轉換器等裝置的情況下，太陽光電能系統的裝置費用可以大幅降低。第二、排除蓄電池、轉換器等裝置的損耗之後，太陽光電能系統的效率將可以大幅提高。

假設所裝設光電板的發電量是 $P$ ，包含蓄電池、轉換器等裝置的裝置費用是 $C$ ，蓄電池、轉換器等裝置的費用假設佔整個太陽光電能系統裝置費用的一半，如果採用本研究提出直接應用的模式，在不需蓄電池、轉換器等裝置的情況下，裝置費用是 $0.5C$ ，由於沒有蓄電池、轉換器等裝置的損耗，因此，所能提供給負載的電力是 $P$ ，故每單位電力的成本是 $0.5(C/P)$ ，降為原本 $1.5625(C/P)$ 的 $32\%$ 。因此，如果採用本研究提出直接應用的模式，裝設 $1\text{KW}$ 太陽光電能系統，則因為成本降為原本的 $32\%$ ，故民眾只要花費四萬八千元，而 $10$ 年共可節省電費四萬六千元。因此，如果電費調漲，或者因技術提升而使成本降低，或者政府願意提高補助，或者使用年限超過 $10$ 年（工研院對太陽能光電板的使用年限一般是以 $20$ 年來估算[2]，則 $20$ 年共可節省電費九萬兩千元），相信可以產生足夠的經濟誘因，吸引民眾裝設太陽光電能系統。

值得一提的是：在推廣太陽能熱水系統時，常遇到的問題是，民眾家中已經裝設電能熱水器，所以不再需要太陽能熱水系統，造成太陽能熱水系統的普及率難以攀升。但是，家中已經裝設電能熱水器的民眾，仍然可以採用本研究提出直接應用的模式，再裝設太陽光電能系統來節省電費支出。

此外，已經裝設太陽能熱水系統的民眾，也同樣可以採用本研究提出直接應用的模式，再裝設太陽光電能系統來作為太陽能熱水系統輔助電熱器的電源，不但可以節省電費支出，還可以提高太陽能熱水系統的效率。

### 四、目前太陽能熱水系統的潛在問題

太陽能熱水系統經過多年的推廣，也有相當多的研究[22-33]，但是國內的普及率只有 $3.4\%$ ，反觀日照條件比台灣差的日本竟有高達 $11\%$ 的普及率，而以色列更有 $80\%$ 的普及率，顯示國內太陽能熱水

## 方的改良型太陽能熱水系統

系統仍有非常大的發展空間。前一節提到：可以採用本研究所提出直接應用的模式，裝設太陽光電能系統來作為太陽能熱水系統輔助電熱器的電源。不過，想要以太陽光電能系統來作為太陽能熱水系統輔助電熱器的電源，必須先調整太陽能熱水系統輔助電熱器的裝設位置。原因說明如下：

自然循環型太陽能熱水器的示意圖如圖一所示，假設剛開始系統內全部都是冷水，故各處的溫度均相同，意即  $T_A=T_B=T_C=T_D=T_E=T_F=T_G$ 。當日出後，在 B 點的水因為吸收太陽熱能，溫度升高，使  $T_B>T_C$ 。在 B 點的水因為受熱膨脹，所以密度變小而往上升到 C 點，再繼續上升到 D 點，而原本在 D 點的水則因溫度較低，密度較大而降落到 E 點，原本在 E 點的水則被排擠到 F 點，同理，原本在 F 點的水則被排擠到 G 點，原本在 G 點的水則被排擠到 A 點，最後，原本在 A 點的水則被排擠到 B 點，繼續吸收太陽熱能。此即所謂之加熱循環。

由於熱水都優先聚集在 D 點，故 D 點的溫度上升最快，當  $T_D>T_B>T_C$ ，將使 D 點的水具有最小的密度，則加熱循環變成  $B\rightarrow C\rightarrow E\rightarrow F\rightarrow G\rightarrow A\rightarrow B$ 。當  $T_D>T_E>T_B>T_C$ ，則加熱循環變成  $B\rightarrow C\rightarrow F\rightarrow G\rightarrow A\rightarrow B$ 。當  $T_D>T_E>T_C>T_B$ ，則加熱循環中斷，因為  $T_C>T_B$ ，在 C 點的水的密度比在 B 點的水的密度還小，使在 B 點的水因密度較大而不再上升。所以，一旦  $T_C>T_B$ ，則加熱循環中斷，系統將不再吸收太陽熱能。

因為目前太陽能熱水器的輔助電熱器大都裝在熱水儲存槽內，所以 C 點的溫度會因為輔助電熱器的加熱而快速上升，一旦  $T_C>T_B$ ，則加熱循環中斷，系統將不再吸收太陽熱能。如果輔助電熱器只在夜間加熱，白天不加熱，則上述問題不會發生。可是，太陽能光電板必須在有日光時才能將太陽光能轉換成電能，若要在夜間用電，則需要增加蓄電池、充放電控制等設備，將會使成本大幅度地增加。所以，如果想以太陽光電板所產生的電力，來做為太陽能熱水器輔助電熱器的電源，則以在白天直接利用最合適。不過，如此一來，上述 C 點的溫度會因為輔助電熱器的加熱而快速上升，使得  $T_C>T_B$ ，造成加熱循環中斷，系統不再吸收太陽熱能的問題，就必須設法加以解決。

## 五、輔助電熱器裝設於太陽能集熱器下

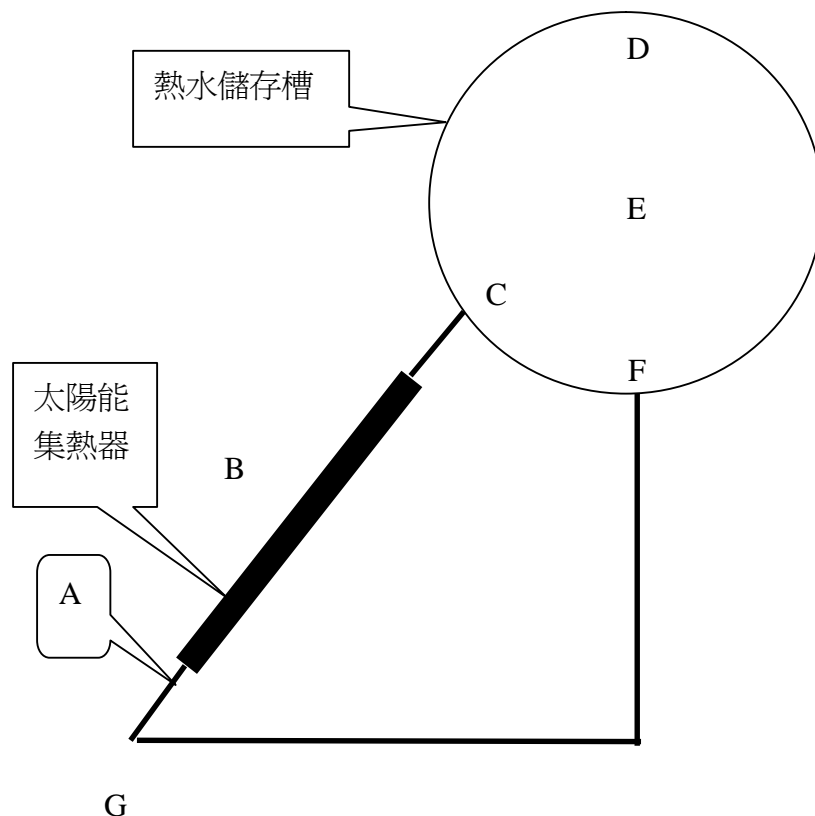
本研究提出一種將輔助電熱器裝設於太陽能集熱器下方的改良型太陽能熱水系統，可以有效解決上述問題。本研究將輔助電熱器裝設於圖一中的 A 點處，與目前將輔助電熱器裝設於熱水儲存槽內的太陽能熱水系統比較，具有以下優點：

- 第一、輔助電熱器加熱的時候，C 點的溫度不會快速上升，因此，不會造成加熱循環中斷，不會妨礙系統吸收太陽熱能。
- 第二、輔助電熱器在 A 點加熱，將有助於使 B 點的水溫升高，連帶使加熱循環更順暢，因而可以吸收更多的太陽熱能。
- 第三、在陰雨天或夜間等沒有陽光，而必須完全依賴輔助電熱器加熱的時候，可以將輔助電熱器的電源，由太陽能光電板，改為市電，則一樣可以將熱水儲存槽內的水加熱，以供灌溉之用。

綜上所述，目前將輔助電熱器裝設於熱水儲存槽內的太陽能熱水系統，並不適合在白天以輔助電熱器協助加熱，因為會使加熱循環中斷，結果反而會妨礙系統吸收太陽熱能，所以，並不適合以太陽光電板所產生的電力，來做為太陽能熱水器輔助電熱器的電源。而本研究提出，將輔助電熱器裝設於太陽能集熱器下方的改良型太陽能熱水系統，若在白天以輔助電熱器協助加熱，不但不會妨礙系統吸收太陽熱能，而且會使加熱循環更順暢，可以幫助使系統吸收更多的太陽熱能，所以，非常適合與太陽能光電板搭配使用。

## 六、結論

本研究提出一種將輔助電熱器裝設於太陽能集熱器下方，由太陽光電能系統供電的太陽能熱水系統，可以使由太陽光電能系統供電的輔助電熱器，與太陽熱能相輔相成，使效率提升。而且因為太陽光電能系統在不需蓄電池、轉換器等裝置的情況下，成本大幅降低，經濟誘因增加，將可廣為推展，而且太陽光電能系統與太陽能熱水系統的效率都獲得提高，將可以更加地被民眾接受與使用，則太陽能的利用率必能增加。在後續的研究中，希望能籌到足夠的經費，建造實際的系統，以便對改良前後的效能進行比較。



圖一 自然循環型太陽能熱水器示意圖

### 七、參考文獻

1. “再生能源發電簡介”, 台灣電力公司, 中華民國七十九年六月。
2. “太陽能應用推廣說明巡迴列車講義”, 經濟部能源委員會, 中華民國九十年。
3. Derek Lovejoy, “Some current trends in renewable energy for developing countries”, *Renewable Energy*, Vol. 5, Part I, pp. 215-224, 1994.
4. Michael Jefferson, “Global prospects for renewable energy”, *Renewable Energy*, Vol. 5, Part I, pp. 5-11, 1994.
5. R. Ramakumar, Nicholas G. Butler, Alonso P. Rodriguez and S. (Mani) S. Venkata, “Economic aspects of advanced energy technologies”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 81, No. 3, pp. 318-331, 1993.
6. T. J. Hammons and A. G. Geddes, “Assessment of alternative energy sources for generation of electricity in the UK following privatization of the electricity supply industry”, *IEEE Trans on*

- Energy Conversion, Vol. 5, No. 4, pp. 609-615, 1990.
7. Y. Yao, P. Bustamante, R. S. Ramshaw, "Improvement of induction motor drive systems supplied by photovoltaic arrays with frequency control", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 9, No. 2, pp. 256-262, 1994.
  8. Yoshihiro HAMAKAWA, "Recent advances in solar photovoltaic technology and its new role for environmental issue", Renewable Energy, Vol. 5, Part I, pp. 34-43, 1994.
  9. Saifur Rahman and Mounir Bouzguenda, "A model to determine the degree of penetration and energy cost of large scale utility interactive photovoltaic systems", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 9, No. 2, pp. 224-230, 1994.
  10. W. T. Jewell and T. D. Unruh, "Limits on cloud-induced fluctuation in photovoltaic generation", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 5, No. 1, pp. 8-14, 1990.
  11. J. C. Schaefer, "Review of photovoltaic power plant performance and economics", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 5, No. 2, pp. 232-238, 1990.
  12. Karen Conover, "Photovoltaic operation and maintenance evaluation", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 5, No. 2, pp. 279-283, 1990.
  13. 陳顯明, 謝一鋒, "台灣地區太陽能電池最佳設置角度之研究", 九十一年節約能源論文發表會, pp. 127~137, 2002.
  14. 畢志強, "利用太陽能與市電之電動機車電池充電站之研究", 九十一年節約能源論文發表會, pp. 290~304, 2002.
  15. 王耀諱, 邱國偉, "部分遮蔽對太陽能電池模組輸出特性之影響", 九十一年節約能源論文發表會, pp. 305~314, 2002.
  16. 邱錦松, "太陽能光電系統補助問題探討", 2000年永續能源中華民國太陽能學會20週年紀念大會暨學術研討會, pp. 23~26, 2000.
  17. 吳財福, "多功能太陽光電併網供電系統", 2000年永續能源中華民國太陽能學會20週年紀念大會暨學術研討會, pp. 39~49, 2000.
  18. 張誌彰, 洪國強, 陳秋麟, "全數位化控制太陽能電能轉換系統之設計與製作", 第二十一屆電力工程研討會, pp. 958~961, 2000.
  19. 吳旭晉, 陳耀銘, "固定式太陽電池板最佳安裝角度之研究", 第二十一屆電力工程研討會, pp. 967~971, 2000.
  20. 陳建富, 郭永超, 梁從主, "新型單相三線式光伏能量轉換系統", 第二十一屆電力工程研討會, pp. 1087~1091, 2000.
  21. 黃聖嚴, 王耀諱, "分散式太陽光伏系統並聯於市電之經濟評估", 第二十一屆電力工程研討會, pp. 419~423, 2000.
  22. B. A. Jubran, M. A. AL-SAAD and N. A. ABU-FARIS, "Computational evaluation of solar heating systems using concrete solar collectors", Energy Convers Mamt, Vol. 35, No. 12, pp. 1143-1155, 1994.
  23. R. S. Misra, "Performance evaluation of some pressurized and non-pressurized thermosyphonic solar water heating systems," Energy Convers. Mgmt, Vol. 35, No. 3, pp. 173-191, 1994.
  24. "太陽能熱水應用手冊", 工研院能資所, 民國八十二年六月。
  25. 黃信雄, "太陽能熱水系統之原理與實務", 工研院能資所, 中華民國八十四年三月。
  26. 卓胡誼, "省電型太陽能熱水器", 九十一年節約能源論文發表會, pp. 84~92, 2002.
  27. 「太陽熱能技術研究計畫八十五年度期末報告」, 經濟部能源委員會, 中華民國八十五年六月。
  28. 卓胡誼, 周子傑, 汪詠欽, 白盛方, 黃勁文, 黃孟群, "太陽能熱水系統與飲水系統之結合", 第二十一屆電力工程研討會, pp. 1216~1221, 2000.
  29. 唐震宸, "台灣太陽能熱水器之推廣政策及目標", 2000年永續能源中華民國太陽能學會20週年紀念大會暨學術研討會, pp. 1~3, 2000.
  30. 張梅英, "國內太陽能熱水系統應用現況", 2000年永續能源中華民國太陽能學會20週年紀念大會暨學術研討會, pp. 4~7, 2000.
  31. 黃秉鈞, "大氣熱能的開發熱泵", 2000年永續能源中華民國太陽能學會20週年紀念大會暨學術研討會, pp. 10~11, 2000.
  32. 呂錫民, "改良型複合式太陽能熱水除濕裝置之開發與實驗驗證", 2000年永續能源中華民國太陽能學會20週年紀念大會暨學術研討會, pp. 16~17, 2000.
  33. 卓胡誼, 汪詠欽, 白盛方, 黃勁文, 黃孟群, 周子傑, "太陽能蒸餾水機之研發", 2000年永續能源中華民國太陽能學會20週年紀念大會暨學術研討會, pp. 18~22, 2000.