

追日型太陽能系統新技術 New technologies for solar tracking systems

卓胡誼
Yi Jwo-Hwu

黃文川*
Wen-Chwan Hwang*

吳春吉
Chuen-Chi Wu

*通訊作者

崑山科技大學電機工程系
Department of Electrical Engineering
Kun Shan University
Tainan, Taiwan, R. O. C.

fox.ntit@msa.hinet.net

hwangwen@mail.ksut.edu.tw

fox.ntit@msa.hinet.net

摘要

本文提出有關追日型太陽能系統的新技術，第一個新技術以電磁閥取代傳統的馬達趨動方式，第二個新技術以彈簧取代傳統的馬達趨動方式，第三個新技術則提出一種聚光追日型太陽能熱水器，這些追日型太陽能系統的新技術將有助於太陽能的運用與推廣。

關鍵詞：追日型太陽能系統。

Abstract

In this paper, new technologies for solar tracking systems are proposed. The first technology features a motor-free solar tracking system. Instead of motors, electromagnetic valves are equipped to drive the system. The second technology features a motor-free solar tracking system. Instead of motors, springs are equipped to drive the system. The third technology proposes a solar tracking water heating system with condensers. These new technologies make an important step forward for applications of solar energy.

Keywords: Solar tracking systems.

一、前言

國際原油價格飆升到每桶六十美元以上，造成國內油、電價格必須調漲的龐大壓力，凸顯國內能源供應完全受制於人的窘境；核四續建以及核一、核二、核三是否延役，還有核廢料如何處理的爭議，也在在顯現核能發電在未來的不確定性；京都議定書的生效，更是明白宣告煤炭高價與限制使用時代的來臨；在二十一世紀，是否能夠掌握充足、廉價、低污染的能源，將是決定一個國家強弱存亡的關鍵！如何使台灣能夠迅速擺脫 97%以上能源仰賴進口的困境，快速、大幅度提高自產能源的供應量，將是未來數十年內台灣是否有競爭力的首要指標！面對油價高漲、核廢料無法處理、煤炭的使用受到京都議定書限制的局面，位處亞熱帶、四面環海、東北季風強勁的台灣，未來的能源供給應該何去何從？當然是要往太陽能、海洋能以及風能的方向發展！因此，本文針對太陽能，提出有關追日型太陽能系統的新技術，希望能有助於太陽能的運用與推廣。

二、先前技術

要使太陽能系統追日的先決條件，是要能夠掌握太陽的軌跡，茲將國內外對太陽軌跡的相關研究簡介如下：

雲林科技大學王教授對於太陽磁偏角(赤緯角)有深入的研究〔1〕，並推演出逐時日射量機率模型，可以用來推估逐日或逐時的日射量，對於預估太陽能光電板於某一特定時段的發電量有相當大的幫助，可以使獨立型或併聯型太陽光電能系統做更適當的調度。

中正大學陳教授針對固定式太陽能光電板最佳安裝角度進行研究〔2〕，得知嘉義地區每個月的最佳安裝角度，可供嘉義地區太陽光電板逐月調整仰角的重要參考。

中原大學何教授的研究〔3〕，則提供中壢地區太陽能光電板調整仰角的重要參考，並突顯在不同日照強度下調整負載的效益。

建國科技大學紀教授，則自製追日機構與控制電路〔4〕進行實際測試，並將追日方法由太陽能光電板推廣到太陽能熱水器〔5〕。

Walraven 的研究〔6〕，首先提出太陽位置的計算公式，但是透過時區等各種換算，顯得較為麻煩，而且只適用於北半球。

Braun 和 Mitchell 的研究〔7〕，則著重於推導出不同追日模式的方位角及仰角，但卻不適用於熱帶地區。

至於 Cucumo 等人的研究〔8〕，則將以上兩篇的公式，修正成可以適用於任何緯度的公式。

因為台灣位於北半球，而且屬於亞熱帶而非熱帶，故上述三篇論文的公式都適用於台灣，但是以上三篇論文，個別以不同符號提出部份計算公式，令有意研究者必須來回穿梭於不同論文與不同符號之間，顯得複雜又麻煩，故在作者先前的研究中〔9〕，將上述三篇論文的符號加以統一，並省略一些在台灣地區不必考慮的特殊情況，整理歸納成淺顯易懂的簡單公式。

在掌握太陽的軌跡之後，我們便可以得知，在任何地點，任何瞬間，應該如何調整太陽能系統，使其對準太陽，發揮最高效能。依據國外的研究〔10〕，具追日功能的太陽能光電板，其輸出可比固定式的太陽能光電板增加約 50%，可是，若想增加約 50%的輸出，就必需使用雙軸追日系統，需要兩個馬達，成本與耗電量都較高。因此，在作者先前的研究中〔11〕，共分析了十種雙軸與單軸追日模式，由實驗結果顯示，因為太陽在一天

中最主要的變動是由東往西，所以，採用單軸東西向追日的太陽能光電板，其輸出可比固定式的太陽能光電板增加約27%，而且只要一個馬達，成本較低，並且因為不需要負擔整個系統的重量，所以較為省能。

此外，因為太陽在一天中，基本上，上午偏東，中午位於中間，下午則偏西，所以，在作者先前的研究中[11]，也提出一天調整三次追日模式，只在上午、中午、下午各調整一次，如此可以大幅降低耗電量，但是，由實驗結果顯示，以單軸東西向一天調整三次追日模式的太陽能光電板，其輸出仍然可比固定式的太陽能光電板增加約22%，在大幅降低耗電量的前提下，效果依然相當不錯。

而台灣大學黃教授，更進一步以平面聚光鏡，發展出集光式太陽光發電追蹤控制系統[12]，在小模型測試得知，馬達耗電量約為太陽能光電板發電量的4.95%。不過，在小模型中使用的是小片太陽能光電板，其重量與模組化後的大片太陽能光電板恐怕有相當的差異，故在採用模組化後的大片太陽能光電板時，馬達耗電量所佔比例應會增加，而聚光後導致陽光並非垂直照射到太陽能光電板，使原本發電16W的太陽能光電板，在兩倍聚光後，只發電31W而非32W，也是值得再改進之處。

上述改良雖然頗有成效，但是，因為太陽能光電板的重量相當重，一片可發電100W的太陽能光電板約重達10公斤，1KW的系統，再加上支架之後，其重量將超過100公斤，如果採用馬達驅動的方式，則增加的發電量可能反而比為了調整所耗費的電量還少。相同的，太陽能熱水器的集熱器在裝滿水後也是非常重，造成目前大多數的太陽光電能系統與太陽能熱水器都採用固定式，不具備追日功能，對太陽能的運用與推廣非常不利。因此，本文的目標在於：研發出不用馬達的太陽能追日系統，完全不用馬達，就可以使太陽能光電板或太陽能熱水器達到追日功能。

三、不用馬達的太陽能追日系統

為了避免馬達驅動的高成本與高耗能，作者研發出不用馬達的太陽能追日系統，其示意圖如圖1所示，太陽能光電板或太陽能集熱器，經由轉軸架設於支撐結構上，可以往東轉或往西轉。在太陽能光電板或太陽能集熱器的東邊裝設東水槽，東水槽上方裝設東水槽注水控制閥門，可以經由管線把水注入東水槽內，東水槽下方裝設東水槽洩水控制閥門，可以經由管線把水排出東水槽外。在太陽能光電板或太陽能集熱器的西邊裝設西水槽，西水槽上方裝設西水槽注水控制閥門，可以經由管線把水注入西水槽內，西水槽下方裝設西水槽洩水控制閥門，可以經由管線把水排出西水槽外。在支撐結構與轉軸相接處，設有角度控制器，角度控制器上有許多凸鈕，可以經由定時器，在特定時間啟動電磁開關，把部份凸鈕收縮，達到限制轉軸可以轉動角度範圍的目的。因為地球每天(24小時)自轉一圈為360度，所以，太陽每小時大約由東往西移動15度。我們可以設計使定時器每小時多啟動一個電磁開關，多收縮一個凸鈕，使轉軸可以多轉動15度，藉以達成使太陽能系統追日的目標。因為在作者先前的研究中，發現一天調整三次追日模式，只在上午6:00~10:00調到45度、中午10:00~14:00調到90度、下午14:00~18:00調到135度，效果依然相當不錯，

故以此模式說明操作步驟如下：

步驟一：假設最初東水槽裝滿水，西水槽則完全沒有水，角度控制器的凸鈕全部收縮，所有控制閥門都關閉。則因為重力作用，將使轉軸往東轉到底(45度)，使太陽能光電板或太陽能集熱器朝東。此時，使角度控制器的凸鈕全部突出，使轉軸不能轉動。

步驟二：日出後，將東水槽洩水控制閥門打開，把水完全排出東水槽外。再把西水槽注水控制閥門打開，把西水槽內裝滿水，再把東水槽洩水控制閥門與西水槽注水控制閥門都關閉。

步驟三：當時間到達上午操作設定時間(10:00)，定時器啟動第一個電磁開關，收縮第一個凸鈕，則因為重力作用，將使轉軸往西轉動到90度。

步驟四：當時間到達中午操作設定時間(14:00)，定時器多啟動一個電磁開關，多收縮一個凸鈕，則因為重力作用，將使轉軸往西轉動到135度。

步驟五：日落後，將西水槽洩水控制閥門打開，把水完全排出西水槽外。再把東水槽注水控制閥門打開，把東水槽內裝滿水。再把西水槽洩水控制閥門與東水槽注水控制閥門都關閉。此時，因為重力作用，將使轉軸往東轉到底(45度)，使太陽能光電板或太陽能集熱器朝東。

步驟六：回到步驟一，繼續下一次的循環。

此一方法與馬達驅動的差異在於：第一、如果角度控制器上的凸鈕與電磁開關的數量不多，例如上面的例子，只有兩個，則成本將比馬達便宜。第二、馬達耗電量和太陽能光電板或太陽能集熱器的大小成正比；但是，此一方法的耗電量，只有開啟電磁開關的固定微小耗電量，與太陽能光電板或太陽能集熱器的大小幾乎無關。

四、彈簧式太陽能追日系統

作者在上一節所提出不用馬達的太陽能追日系統，雖然可以完全不需要馬達，就可以使太陽能系統達到追日功能，成本低、耗能少，但是，角度控制器上的凸鈕與電磁開關的數量有其限制，不能太多，這將造成每次轉動角度的限制。因此，作者再將其改良為彈簧式太陽能追日系統，示意圖如圖2所示，太陽能光電板或太陽能集熱器經由轉軸架設於東彈簧與西彈簧以及支撐結構上，可以往東轉或往西轉，在太陽能光電板或太陽能集熱器的東邊裝設東水槽，東水槽上方裝設東水槽注水控制閥門，可以經由管線把水注入東水槽內，東水槽下方裝設東水槽洩水控制閥門，可以經由管線把水排出東水槽外。在太陽能光電板或太陽能集熱器的西邊裝設西水槽，西水槽上方裝設西水槽注水控制閥門，可以經由管線把水注入西水槽內，西水槽下方裝設西水槽洩水控制閥門，可以經由管線把水排出西水槽外。在轉軸上設有角度偵測器，可偵測目前的角度，藉以判斷要將東水槽與西水槽注水或排水。

假設最初東水槽與西水槽內完全沒有水，所有閥都關閉，東彈簧與西彈簧的彈力平衡，太陽能光電板或太陽能集熱器處於水平狀態。夜晚，把東水槽注水控制閥門打開，把東水槽內裝滿水，設計使東水槽內裝滿水的重量剛好壓迫使東彈簧縮到最短，使轉軸往東轉到底，使太陽能光電板或太陽能集熱器朝東。因為地球每天(24

小時)自轉一圈為360度，所以，太陽每小時大約由東往西移動15度。我們可以設計使定時器每小時控制注水或排水一次，使轉軸可以多轉動15度，藉以達成使太陽能系統追日的目標。因此，日出後，將東水槽洩水控制閥門打開，把水慢慢排出東水槽外，則東彈簧將慢慢伸展，則太陽能光電板或太陽能集熱器也會慢慢由東往西轉，當角度偵測器偵測轉軸已經達到預定的角度時，將東水槽洩水控制閥門關閉。再一個小時後，再將東水槽洩水控制閥門打開，把水慢慢排出東水槽外，則東彈簧將慢慢伸展，則太陽能光電板或太陽能集熱器也會慢慢由東往西轉，當角度偵測器偵測轉軸已經達到預定的角度時，將東水槽洩水控制閥門關閉。一直重覆以上動作，直到東水槽內的水完全排空為止。此時東水槽與西水槽內完全沒有水，所有閥都關閉，東彈簧與西彈簧的彈力平衡，太陽能光電板或太陽能集熱器處於水平狀態。接著，把西水槽注水控制閥門打開，慢慢把水注入西水槽內，則西彈簧將慢慢被壓縮，太陽能光電板或太陽能集熱器也會慢慢由東往西轉，當角度偵測器偵測轉軸已經達到預定的角度時，將西水槽注水控制閥門關閉。再一個小時後，再將西水槽注水控制閥門打開，把水慢慢注入西水槽內，則西彈簧將慢慢被壓縮，太陽能光電板或太陽能集熱器也會慢慢由東往西轉，當角度偵測器偵測轉軸已經達到預定的角度時，將西水槽注水控制閥門關閉。一直重覆以上動作，直到西水槽內裝滿水為止。設計使西水槽內裝滿水的重量剛好壓迫使西彈簧縮到最短，使轉軸往西轉到底，使太陽能光電板或太陽能集熱器朝西。日落後，把西水槽內的水排空，回到最初的狀態，繼續下一次的循環。

也可以設計使定時器每半小時控制注水或排水一次，使轉軸可以多轉動7.5度。或設計使定時器每十分鐘控制注水或排水一次，使轉軸可以多轉動度2.5，藉以達成使太陽能系統追日的目標。

採用彈簧與馬達驅動有明顯的差別，第一、馬達容量與購置成本和太陽能光電板或太陽能集熱器的大小成正比;但是，彈簧的成本與太陽能光電板或太陽能集熱器的成本比較，微乎其微。第二、馬達驅動的耗電量和太陽能光電板或太陽能集熱器的大小成正比;但是，彈簧驅動的耗電量，只有開啟或關閉控制閥門的固定微小耗電量，與太陽能光電板或太陽能集熱器的大小幾乎無關。第三、若要使太陽能光電板或太陽能集熱器能隨時對準太陽，則馬達驅動次數必須非常頻繁，將使耗電量激增;但是，彈簧是慢慢地被壓縮或伸展，因此，太陽能光電板或太陽能集熱器也是慢慢地轉動，比較能夠符合使太陽能光電板或太陽能集熱器隨時對準太陽的要求。

五、聚光追日型太陽能熱水器

以上是對於追日機構的改良，重點在於不用馬達，使裝置成本降低，而驅動方式的改良，也使耗能降低。不過，太陽能熱水器的集熱器因為裝滿水，重量將比太陽能光電板還要重，而且在追日轉動時，如何不影響熱水的流動，也是必須考慮的地方。此外，如果可以使太陽能熱水器的造價大幅降低，但是效能卻有提升，將極有助於太陽能熱水器的推廣與應用。因此，作者提出聚光追日型太陽能熱水器，只使用一根真空管集熱器，與目前使用20~40根真空管集熱器，或者使用兩片到四片

平板集熱器比較，可大幅降低成本。

本文所提出之的聚光追日型太陽能熱水器，請參考圖3與圖4，聚光裝置由追日機構轉動，將陽光聚焦於真空管太陽能集熱器上，真空管太陽能集熱器內的水被加熱，密度變小，經由熱水上升管路上升到熱水儲存槽內，使熱水儲存槽內的冷水被排擠，經由冷水下降管路下降到真空管太陽能集熱器內被加熱，形成加熱循環。

與傳統太陽能熱水器比較，本文所提出之的聚光追日型太陽能熱水器具有以下優點:第一、追日機構只轉動很輕的聚光裝置，裝滿水、很重的太陽能集熱器則固定不動。則追日機構的成本與耗能都可大幅降低。第二、只使用一根真空管集熱器，可大幅降低成本。第三、傳統太陽能熱水器在集熱面積內平均分布許多集熱器，故每一集熱器單元所能吸收的太陽熱能較少，所能達到的溫度較低，連帶的，熱水儲存槽內所能達到的水溫也較低。本文所提出的聚光追日型太陽能熱水器，則是將集熱面積內的太陽熱能，全部集中於一根真空管集熱器，故真空管集熱器所能達到的溫度較高，連帶的，熱水儲存槽內所能達到的水溫也較高，可使太陽能熱水器的效能提升。

六、結論

本文提出有關追日型太陽能系統的新技術，在追日機構方面，首創不用馬達驅動的方式，改為利用水槽重力，凸鈕或彈簧制動的方式，使裝置成本與耗能降低。而在太陽能熱水器方面，則提出聚光追日型太陽能熱水器，只使用一根真空管集熱器，可以使太陽能熱水器的造價大幅降低，有助於太陽能熱水器的推廣與應用。本文相關內容已經申請專利，歡迎相關產業洽談授權合作等相關事宜。

參考文獻

- [1] 李東諭、王耀諱，「日射量機率模型之建立」，中華民國第21屆電力研討會，pp. 1231-1235, 2000.
- [2] 吳旭晉、陳耀銘，「固定式太陽能電池最佳安裝角度之研究」，中華民國第21屆電力研討會，pp. 967-971, 2000.
- [3] 何金滿、包濬璋，「中壢地區太陽光發電系統運轉性能評估」，中華民國第24屆電力研討會，pp. 419-420, 2003.
- [4] 紀捷聰、鐘明政，「應用太陽能位置站追蹤法提高太陽能板輸出功率之研究」，中華民國第23屆電力工程研討會，pp. 294-298, 2002.
- [5] 紀捷聰，「太陽能熱水器集熱板之改善暨智慧型追日機構裝置之研究」，中華民國第24屆電力研討會，pp. 1627-1631, 2003.
- [6] Walraven,R., "Calculation the Position of the Sun", Solar Energy 20, pp. 393-397, 1978.
- [7] Braun, J. E.and Mitchell, J. C. , "Solar Geometry for Fixed and Tracking Surfaces", Solar Energy 31, pp. 439-444, 1983.
- [8] M. Cucuno, D. Kaliakatsos, and V. Marinelli, "General Calculation Methods for Solar Trajectories", Renewable Energy, Vol. 11, No. 2, pp. 223-234, 1997.
- [9] Jiun-Ming Lin, Ming-Po Li, Sheng-Tse Huang, Hung-Yi Liu, Wun-De Lin, and Yi Jwo-Hwu, "Study on a solar tracking system: part I: accuracy of the formulas", Proceeding of the 25th symposium on electrical power engineering, pp. 2148-2153, 2004.
- [10] P.Batlas, M. Tortoreli and P. Russell, "Evaluation of Power Output for Fixed and Step Tracking Photo -Voltaic", Solar Cells, Vol. 37, No.

2, pp. 147-163, 1986.

- [11] Jiun-Ming Lin, Hung-Yi Liu, Sheng-Tse Huang, Jiun-Ming Lin, Ming-Po Li, and Yi Jwo-Hwu, "Study on a solar tracking system: part II: the two-axis and one-axis tracking system", Proceeding of the 25th symposium on electrical power engineering, pp. 2154-2159, 2004.
- [12] 黃秉鈞, 孫輔笙, 廖偉承, 高晨喬, "集光式太陽光發電追蹤控制系統", 2004 太陽能科技與產業發展研討會論文集, pp. 1~32, 2004.

圖形說明

圖 1 符號對照表

- 81: 太陽能光電板或太陽能集熱器
82: 轉軸
83: 東水槽
831: 東水槽注水控制閥門
832: 東水槽洩水控制閥門
84: 西水槽
841: 西水槽注水控制閥門
842: 西水槽洩水控制閥門
85: 角度控制器

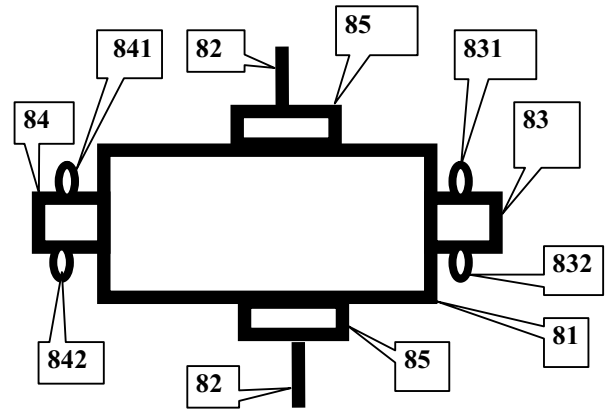


圖 1 不用馬達的太陽能追日系統示意圖

圖 2 符號對照表

- 81: 太陽能光電板或太陽能集熱器
82: 轉軸
83: 東水槽
831: 東水槽注水控制閥門
832: 東水槽洩水控制閥門
84: 西水槽
841: 西水槽注水控制閥門
842: 西水槽洩水控制閥門
85: 東彈簧
86: 西彈簧
87: 角度偵測器

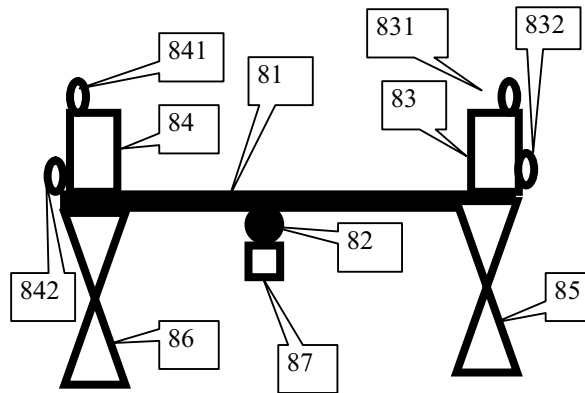


圖 2 彈簧式太陽能追日系統示意圖

圖 3、圖 4 符號對照表

- 81: 真空管太陽能集熱器
82: 聚光裝置
83: 追日機構
84: 熱水儲存槽
85: 冷水下降管路
86: 熱水上升管路

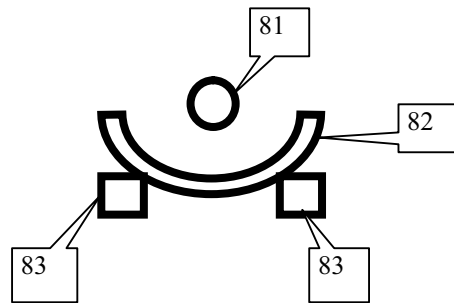


圖 3 聚光追日型太陽能熱水器剖面示意圖

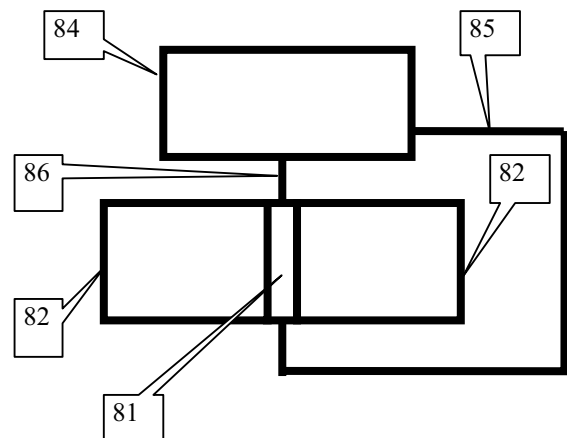


圖 4 聚光追日型太陽能熱水器鳥瞰示意圖