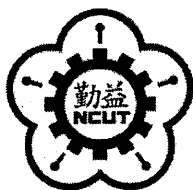


DT  
448  
7552  
100  
225157



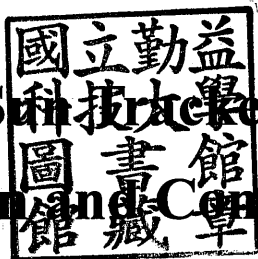
國立勤益科技大學  
電機工程系碩士班

碩士論文

雙軸太陽追蹤器之設計及控制

Two Axis Sun Tracker System

Design and Control



研究生：陳威佐

指導教授：洪清寶 教授

中華民國 一〇〇 年 一 月

國立勤益科技大學圖書館



225157

# 勤益科技大學

## 博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在勤益科技大學  
電機工程系 機電控制 組 99 學年度第 1 學期取得碩士學位  
之論文。

論文題目：雙軸太陽追蹤器之設計及控制  
指導教授：洪清寶

### ■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校  
圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方  
式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢  
索、閱覽、下載及列印。

論文 全文 上傳 網路 公開 之範 圍及 時 間：	校內區域網路	■ 中華民國 102 年 1 月 18 日公開
	校外網際網路	■ 中華民國 105 年 1 月 18 日公開

授權人：陳威佐

簽名：陳威佐

中 華 民 國 100 年 1 月 18 日

## 國家圖書館 博碩士論文電子檔案上網授權書

本授權書所授權之論文為授權人在勤益科技大學電機工程系 99 學年度第 1 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：雙軸太陽追蹤器之設計及控制  
指導教授：洪清寶

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文（含摘要），非專屬、無償授權國家圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或其他各種數位化方式將上列論文重製，並得將數位化之上列論文及論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

上列論文為授權人向經濟部智慧財產局申請專利之附件或相關文件之一（專利申請案號：\_\_\_\_\_），請於 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日後再將上列論文公開或上載網路。

因上列論文尚未正式對外發表，請於 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日後再將上列論文公開或上載網路。

授權人：陳威佐

親筆簽名及蓋章：陳威佐  
日

民國 100 年 / 月

電話：0919-072083 傳真：  
聯絡地址：台中市西屯區甘州六街20號  
E-Mail：zeus0730@yahoo.com.tw

國立勤益科技大學  
研究所碩士班  
論文口試委員會審定書

本校電機工程系碩士班 陳威佐 君

所提論文 雙軸太陽追蹤器之設計及控制

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人：洪三山

委員：溫清發

姚賀騰

洪三山

指導教授：溫清發

主任：姚賀騰

中華民國 一〇〇年 一月

# 雙軸太陽追蹤器之設計及控制

學生：陳威佐 指導教授：洪清寶

國立勤益科技大學 電機工程研究所碩士班

## 摘要

本論文主要為進行一雙軸式之太陽追蹤器設計及控制方法之研究。以開發太陽追蹤器機構、感測裝置和電控系統設計為目標。主要包括：

1、雙軸太陽追蹤系統機構設計：系統機構方面的設計，主要包含雙軸太陽追蹤系統的主體機構設計和感測器機構設計。系統的主體機構，包括了一垂直方向旋轉之太陽能板承載盤、一水平旋轉之基座和控制箱體三個部分。在垂直和水平旋轉座的轉動，均由高減速比之小型伺服馬達所驅動，以盡可能減少追蹤器的耗電量。在承載方面，藉由減速機的高減速比，提高承載力，以配合承載中型的太陽能板。另外，感測機構方面的設計，則是使用光敏電阻做為本系統感測方面的主要元件，利用光敏電阻對光源的特性，進行光源的追蹤。

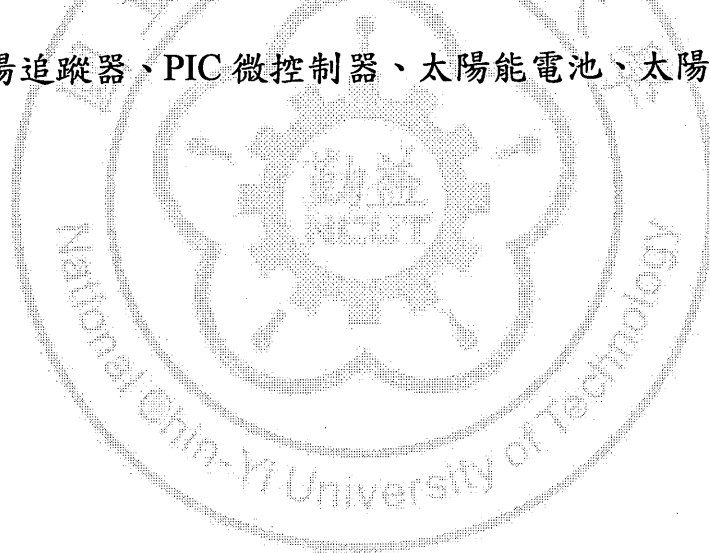
2、太陽位置感測器設計：主要包含感測機構及光源偵測電路，感測機構呈十字型對稱斜坡，以俾於安置的光敏電阻對不同角度的光源有不同的靈敏度，用來判別光源方位。

3、電控系統設計：電控系統方面的設計，主要包含伺服介面卡設計、光感測電路設計及主控晶片的電控程式設計三個部分。伺服介面

卡設計方面，設計一植基於 PIC 控制核心的嵌入式電控系統，是以直流伺服馬達控制為主，以 PIC18F8720 晶片做為伺服控制介面卡的控制核心，整合必須的功率晶率及編碼器信號回授，以執行直流馬達的閉回路控制。另外，感測電路設計方面，則包含東西向及南北向二組光敏電阻。利用光敏電阻對光源強弱，會產生不同阻值的特性，產生一電壓差信號，進入伺服介面卡。電控程式設計依東西向和南北向之間的電壓差，決定是否驅動馬達進行追蹤。

最後，本文所完成的雙軸太陽追蹤系統，以白熾燈、燈泡和太陽光三種不同的光源，分別在室內和室外進行實驗驗證。其實驗結果驗證了本文所設計的雙軸太陽追蹤系統架構之可行性及有效性。

關鍵字：太陽追蹤器、PIC 微控制器、太陽能電池、太陽能陣列、伺服控制。



# Two Axis Sun Tracker System Design and Control

Student : Wei-Zuo Chen

Advisor : Chin-Pao Hung

Department of Electrical Engineering  
National Chin-Yi University of Technology

## Abstract

The aim of this thesis is to design and control a two axis sun tracker system. The sun tracker system consists mainly of a tracking mechanism, a sun location sensor, and an electrical control system as follows.

1. Two axis sun tracker mechanism design: The mechanism of sun tracker system has mainly three parts, a horizontal axis base, a vertical axis loading platform, and a control box. The horizontal axis base and vertical axis loading platform are driven by high gear ratio DC motors to reduce the motor size and the rated power. The designed gear ratio is higher enough to load middle size solar cells.
2. The sun location sensor includes sensor mechanism and CdS (Cadmium Sulphide) sensor circuit. The sensor mechanism is design for arranging four CdS on four symmetrical ramp surfaces to benefit the CdS have different sensitivity to distinguish different light source.
3. The electrical control system consists mainly of servo control card, CdS sensor circuit, and programming. The servo control

card uses PIC18F8720 chip as the control kernel. Integrating the necessary power MOSFET and encoder signal circuit it can execute the position loop control of DC servo motor. The CdS circuits are divided as north-southern and west-east two groups. Each group contains signal processing circuit to ensure signal measurement. Different light location will generate voltage difference from the sensor circuit. Zero voltage difference denotes the loading panel is orthogonal to light beams.

Finally, the developed two axis sun tracker system is tested using incandescent lamp, fluorescent lamp, and sunlight to demonstrate the feasibility and success. The experimental results show that the loading panel can track the different light source always, no matter the incandescent lamp, fluorescent lamp, or sunlight.

**Keywords:** sun tracker, PIC microcontroller, solar cell, solar array, servo control.



## 誌謝

在研究所這一階段的求學過程中，是我在整個求學的歷程裡，最有收穫且學習最廣泛的一個階段。不僅是學業上的部分，還包括與同學之間的相處和遇到問題的處理方法…等，這全要感謝我的指導教授洪清寶老師，從我開始進到實驗室，老師很有耐心的帶領，到畢業前，老師不厭其煩的指導我，完成畢業論文。在這期間生活上的點點滴滴，我都很感激老師對我的關愛和照顧。同時，還要感謝口試委員洪三山和姚賀騰兩位教授，在口試期間指導我，並提供寶貴的建議，使論文更加的完整，讓我受益良多。僅在此致上十二萬分感謝。

在實驗室團隊方面，我要感謝偉建、家偉、秉承、顏忠、人丰、俊緯、凱智、富才和宥丞…等人，在他們的協助與幫忙下，使畢業論文能順利完成。最後，我要感謝我的家人，一直默默的支持我，做我最堅強的後盾，讓我無後顧之憂，完成學業。希望未來進入社會，能發揮所長，造福人群。

# 目錄

摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
目錄	vi
表目錄	ix
圖目錄	x
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 文獻回顧	4
1.3 本論文貢獻	6
1.4 章節概要	7
第二章 雙軸太陽追蹤系統設計	8
2.1 簡述	8
2.2 雙軸太陽追蹤系統架構	9
2.2.1 垂直旋轉座	10
2.2.2 控制箱	11
2.2.3 水平旋轉基座	12

2.2.4 減速機	13
2.2.5 直流馬達	15
2.3 感測器機構設計	18
2.3.1 光敏電阻	18
2.3.2 光敏電阻基座	22
2.3.3 感測器機構主體	22
2.3.4 感測器基座	23
2.4 完成之雙軸太陽追蹤系統機構	24
第三章 電控系統設計	26
3.1 伺服介面卡	26
3.2 馬達驅動電路	28
3.3 感測電路	30
3.3.1 儀表放大器	30
3.3.2 輸出電壓調整電路	35
3.4 程式流程	38
3.5 系統架構整合	40
第四章 實驗測試與結果	41
4.1 各組件相關資料	41

4.1.1 光敏電阻相關資料	41
4.1.2 馬達相關資料	43
4.1.3 減速機相關資料	43
4.2 實驗測試方法與結果	44
4.2.1 手提式日光燈	45
4.2.2 手提式燈泡	51
4.2.3 太陽光	57
4.3 雙軸太陽追蹤系統耗電量估算	60
第五章 結論與未來研究方向	63
5.1 結論	63
5.2 未來研究方向	63
參考文獻	67
作者簡介	70

## 表目錄

表 2-1 市售減速機減、變速方式-----	14
表 2-2 光敏電阻電子特性-----	21
表 4-1 光敏電阻電子特性-----	42
表 4-2 馬達電子特性-----	43
表 4-3 馬達後端附設減速機規格-----	44
表 4-4 TM 小型減速機規格-----	44
表 4-5 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度) -----	46
表 4-6 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度) -----	47
表 4-7 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度) -----	48
表 4-8 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度) -----	49
表 4-9 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度) -----	52
表 4-10 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度) -----	53
表 4-11 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度) -----	54
表 4-12 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度) -----	55
表 4-13 馬達耗電量估算-----	61
表 4-14 重物測試的馬達耗電量估算-----	61

## 圖目錄

圖 1-1 德索托下一代太陽能中心	3
圖 1-2 被動式的太陽追蹤系統	4
圖 1-3 類似 INTRA 的太陽能追蹤器	5
圖 1-4 太陽熱力計	5
圖 1-5 太陽能集中式發電廠	6
圖 1-6 反射鏡	6
圖 2-1 一般雙軸太陽追蹤器各方位示意圖	8
圖 2-2 雙軸太陽追蹤系統	9
圖 2-3 雙軸太陽追蹤系統的垂直旋轉座	10
圖 2-4 承載平台的轉幅	10
圖 2-5 雙軸太陽追蹤系統控制箱	11
圖 2-6 雙軸太陽追蹤系統控制箱內部	12
圖 2-7 雙軸太陽追蹤系統的水平旋轉基座	13
圖 2-8 TM 小型減速機	15
圖 2-9 直流馬達制動方法	16
圖 2-10 感測器實體圖	18
圖 2-11 感測器立體圖示	18

圖 2-12 光敏電阻實體圖	-----	19
圖 2-13 光敏電阻構造圖	-----	19
圖 2-14 光敏電阻特性曲線圖	-----	19
圖 2-15 光敏電阻對光譜特性之關係圖	-----	20
圖 2-16 光敏電阻測試電路	-----	21
圖 2-17 光敏電阻基座實體圖	-----	22
圖 2-18 光敏電阻基座立體圖示	-----	22
圖 2-19 感測器機構主體實體圖	-----	23
圖 2-20 感測器機構主體立體圖示	-----	23
圖 2-21 感測器基座實體圖	-----	24
圖 2-22 感測器基座立體圖示	-----	24
圖 2-23 感測器基座裝設位置(距平台約 5 公分)	-----	24
圖 2-24 太陽追蹤系統左視圖	-----	25
圖 2-25 太陽追蹤系統正視圖	-----	25
圖 2-26 太陽追蹤系統右視圖	-----	25
圖 3-1 直流伺服系統控制方塊圖	-----	27
圖 3-2 直流伺服控制介面卡	-----	28
圖 3-3 橋式電路	-----	29

圖 3-4 馬達順時針運轉	29
圖 3-5 馬達逆時針運轉	29
圖 3-6 L6203 實體圖	29
圖 3-7 感測電路	30
圖 3-8 儀表放大器	31
圖 3-9 光感測電路	33
圖 3-10 光感測電路實體圖	33
圖 3-11 差動放大器	34
圖 3-12 差動放大器實體圖	34
圖 3-13 初始電路	35
圖 3-14 經重疊原理後的初始電路	36
圖 3-15 經重疊原理推導後的初始電路	36
圖 3-16 經重疊原理後的初始電路	37
圖 3-17 經重疊原理推導後的初始電路	37
圖 3-18 輸出電壓調整電路	38
圖 3-19 輸出電壓調整電路實體圖	38
圖 3-20 程式流程圖	39
圖 3-21 系統整合架構圖	40



圖 4-1 燈光測試光源位置示意圖	45
圖 4-2 手提式日光燈實際測試照片	50
圖 4-3 手提式燈泡實際測試照片	56
圖 4-4 室外陽光實際測試照片	58
圖 4-5 感測器尚未改良的照片	59
圖 4-6 感測器改良後的照片	59
圖 4-7 感測器改良後在室外陽光實際測試照片	60
圖 5-1 獨立型太陽能供電系統示意圖	66
圖 5-2 獨立型太陽能供電系統架構圖	66



# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

西元 1859 年，德雷克在美國賓州發現了大量的石油，但當時的工業及家庭使用燃料主要還是煤礦，故石油並沒有被大量的使用，直到 1880 至 1890 年期間因為汽油和柴油引擎的發明，使得石油工業開始突飛猛進[1]。發展至今，人類經過兩次的世界大戰，工業迅速發展，科技日新月異，石油逐漸取代煤礦成為二十世紀主要的能源。在汽車工業方面，現今大部分的國家中，幾乎每個家庭至少會擁有一部汽車，因為車子需求量的遽增，相對石油消耗的速度也就非常的快速。另外，在民生用品中，大部分是石化產品，這也是和石油息息相關的。若石油消耗的太快，人類對能源的耗竭沒有危機意識，在尚未開發出新的替代能源前，一旦石油消耗完，那對人類食、衣、住、行各方面將會有相當大的衝擊。還有在電力方面，因為科技的快速提升，使得用電量大幅增加。在發電廠方面，從之前燒煤礦、重油為主發展至核能電廠建立，其中火力發電廠燃燒化石燃料會消耗有限的石油，並排放巨量的汙染物造成空氣汙染。另外，核能電廠經多年使用後，發現不但具有致命的輻射線，其排放出來的廢熱遠遠高過於火力發電廠，對大氣層中的臭氧層有相當程度的破壞[2]。另一方面在安全上的考量，於 1986 年車諾比爾[2]發生的核電廠爆炸，對當地和鄰近的國家造成相當大的影響，由此可知建設核電廠所要承受的風險非常高。

綜合上述原因，如果人類不開發別的能源來替代石油，以這樣子的消耗速度維持不變，大約還可以使用五十到一百年之久[3]，若未來還加快消耗速度，那石油的使用年限便會不到五十年。在毫無節制的能源耗損中，特別是石油的消耗，帶給了自然界難以回復的浩劫，諸

如生態的破壞、空氣的污染及臭氧層的破洞，正威脅著人類的生存環境。如何尋求潔淨、永續及低碳的替代能源，已成為人類重要的研究課題。因此人類必須提早從別的方面開發出新的能源替代方案，例如：地熱、水力、風力、潮汐和太陽能…等。從這些取之不盡，用之不竭的能源中，獲得新的能源來源，不但減少對地球環境的破壞，相較之下也比較安全。但在前述的再生能源中，大部分會受地形和季節的影響，而且能改善的空間有限，並不能發揮最大的效能，但還是可以輔助主要電力，減少環境被破壞的程度。

再生能源於現階段各國發展重點是風力與太陽能發電，在全球各地已有進行商業運轉的實例，其中又以太陽能的發展最為積極。例如：在美國佛羅里達州再生能源計劃未來開始的地方，遍佈太陽能板占地一百多英畝的開闊地，不久將為約三千戶家庭和企業供電，名為德索托下一代太陽能中心(Desoto Next Generation Solar Energy Center)[4]。這是美國迄今最大的太陽能發電廠，如圖 1-1 所示，其發電量約 25 兆瓦，約美國第二大太陽能發電廠發電量的兩倍。太陽是一年四季都會照射到地球可獲得的能源。由先前的文獻記載中可得知，在涵蓋地球 0.16%的土地上，設置太陽能轉換系統，僅 10%效率，便可以提供世界石油消耗量 2 倍的能源供人類使用[5]。若能將其收集起來，好好的利用，能具有滿足全世界能源需求的潛力。其中在全球太陽能發展的國家中，以德國和西班牙最為突出，德國可生產四百萬 kW 電力，西班牙則可生產六十萬 kW 電力。儘管歐洲的發展已到達某種程度，但據研發人員推算全世界於 2020 年光電模型板產量和歐洲聯盟二十七國能源需求相比只佔了百分之三。所以在今年歐洲光電太陽能會議中[6]，研發人員提到，儘管現在太陽能發展快速，但對整體能源的供應仍以「微不足道」來形容太陽能現在發展的狀態。

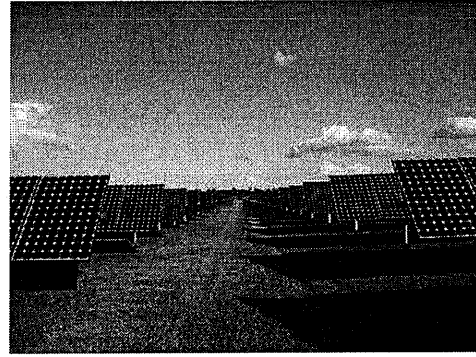
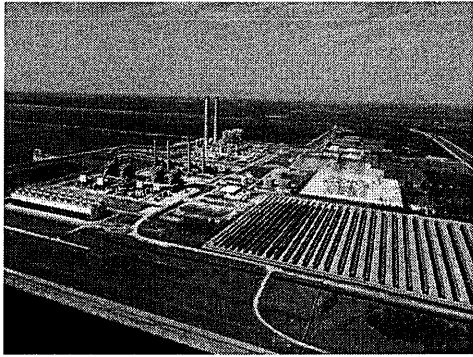


圖 1-1 德索托下一代太陽能中心[4]

近年來有許多國家、民間或學術界等相關單位，一直致力於研究太陽能發電量最佳化，其研究的方向不外乎朝下列這幾點去探討，其中包括太陽能板的製程、最大功率獲得的演算法和太陽能追蹤器機構的製作及改良。如果上述的關鍵技術能逐步的朝向最佳化，那便能加速太陽能的發展。而基於對綠色能源有濃厚的興趣，以及其具備長程發展的前瞻性，因此本論文選定太陽能追蹤器的設計及控制作為論文的

研究方向。

本論文乃設計一以馬達驅動的雙軸機構，藉由光源位置偵測，整合所需之電控系統，使太陽能板承載面能追蹤太陽位置，以取代傳統固定式的太陽能板設置方式。固定式的太陽能機構在太陽能獲取這方面並不完整，由於將太陽能板固定住，導致在某些角度上無法被太陽光照射到，在效率方面減少了許多。如果有追蹤系統，便能隨時隨地的追蹤太陽的位置。另外，在耗能方面若能經精密的演算並利用方法來改善，這樣便能大幅的提升效率，來滿足能源需求。

## 1.2 文獻回顧

在太陽能發電的發展歷史中，研究方向是朝多方面進行並且不斷的改良，其中有太陽能板製程、機構改良和演算法，經這幾個方向去實現太陽能發電量最佳化。例如：在太陽能追蹤機構研究這方面，早期研究方法中，主要是以被動式的太陽追蹤系統為主。在美國曾有人提出過一項專利案[7]，如圖 1-2 所示，其原理為在機構的兩端裝設兩根充滿氟里昂（Freon）液體的管子，經太陽加熱在連接的銅片上，利用銅片快速加熱特性，會將受熱面內的氟里昂液體蒸發，相對於另一根管子，重量會相對變輕，便能將置於中間的太陽能板面向太陽的方向。

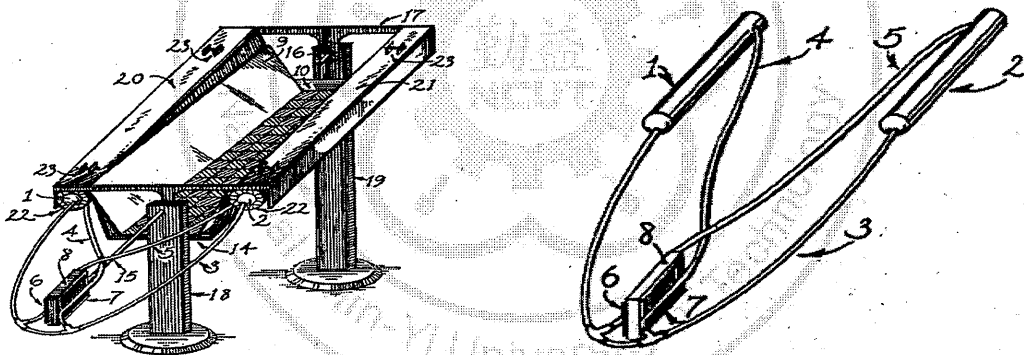


圖 1-2 被動式的太陽追蹤系統[7]

另外在能源相關的論文中，也提出許多的方法，例如：在智利費德里科聖瑪麗亞大學（Technical University Federico Santa Maria），提出使用一種類似瑞士 INTRA 的太陽能追蹤器[8]，如圖 1-3 所示。主要是先利用一個四象限的位置感測器，偵測太陽的位置，再利用太陽熱力計[9]，如圖 1-4 所示，將所接受到的輻射量經由熱電堆轉換成電壓

信號儲存並和國際標準做比較和修正，以達到追蹤的動作。

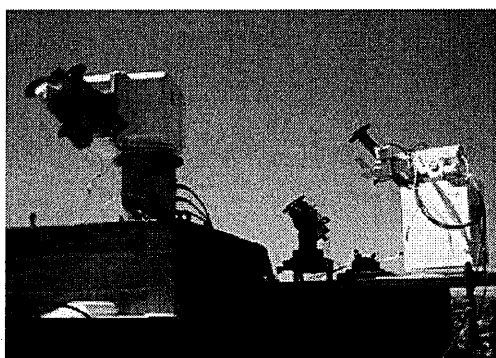


圖 1-3

類似 INTRA 的太陽能追蹤器[8]

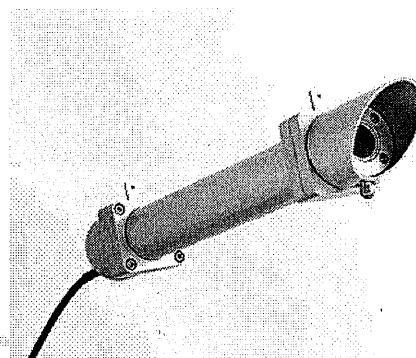


圖 1-4

太陽熱力計[9]

另外在其他方面的研究，例如：利用間隔時間和太陽直接輻射、天空漫射和地上反射等因素，推導公式估計並比較完美傾斜角度和兩軸三階段追蹤之間的效率[10]。另外利用 PV (Photovoltaic) 表面傾斜角度不變，裝置在理想方位追蹤器，其效率會比固定式高 40%，也比平面式追蹤器高 10%[11]。還有針對單軸東西向傾斜的能源收集器，機構上的設計，已達到增加發電效率最大值的 62%[12]…等，許多相關的研究都陸續被提出。實際的案例中，在西班牙的 Almeria 有一座太陽能集中式的發電廠，如圖 1-5 所示，在集中塔的周圍設置許多的反射鏡，如圖 1-6 所示，反射鏡追蹤太陽沿著兩條軸線轉動，將太陽光反射至集中塔發電[13]。經由前述的案例可以知道，太陽能追蹤機構在節約能源上也是重要的一個環節。本論文則配合追蹤器的機構設計採用四象限感測器作為太陽方位的偵測，並進而驅動承載平台來追蹤太陽的位置。

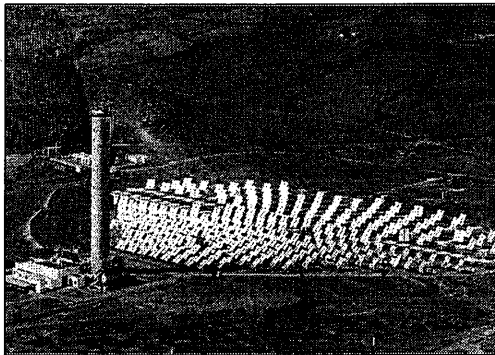


圖 1-5 太陽能集中式發電廠[13]

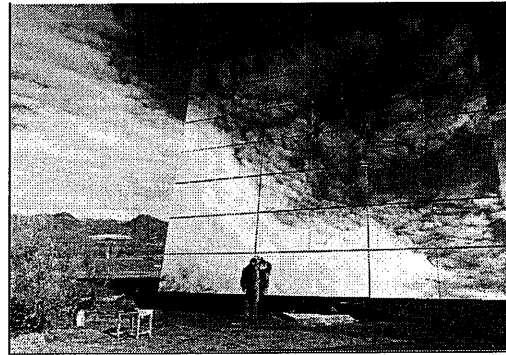


圖 1-6 反射鏡[13]

### 1.3 本論文貢獻

本論文完成了雙軸太陽追蹤器之設計及控制之建置，其主要的貢獻如下：

- (1) 完成的雙軸太陽追蹤器，在主體機構的部分為自行設計，感測器的部分為參酌既有系統後所設計、製作與加工，整體雙軸太陽追蹤器的成本會比一般的感測系統便宜許多，其追蹤效果經實驗後，並不會比市售的系統相差太多。
- (2) 本論文追蹤機構的驅動來源為直流馬達，其中驅動馬達的伺服控制介面卡為實驗室自行開發的介面卡，除了可以節省專用伺服驅動器的經費，更可以完全自主所需之驅動技術，以利於系統在擴充時的彈性。
- (3) 雙軸太陽追蹤器與一般太陽追蹤器最大的差異在於，雙軸太陽追蹤器不需要做方位的定位，在市售的太陽追蹤器會需要對方位做定位，若更換追蹤器的位置，便要重新對太陽追蹤器做方位的定位。

## 1.4 章節概要

本論文以雙軸太陽追蹤器之設計及控制為研究主題，內容共分為五個章節，其介紹如下：

第一章 針對研究動機與目的予以概要說明。

第二章 介紹雙軸太陽追蹤器的主體機構、感測機構的設計、光敏電阻、直流馬達及減速機。

第三章 介紹系統軟硬體及系統整合。在硬體方面為電路設計，包括馬達驅動電路、感測電路及信號輸入調整電路；在軟體方面為程式流程，最後為系統整合方塊架構圖。

第四章 提供機構各組件的相關資料與利用示意圖對實驗的架構及流程做說明，並針對三種不同光源下的實驗結果做進一步的分析。

第五章 總結及未來發展，對本論文所達成的研究成果作一總結，並揭示未來欲達成商品化目標的研究方向。



## 第二章 雙軸太陽追蹤系統設計

近幾個世紀，工業蓬勃發展，科技快速的提升，人類發覺地球生態已遭受到嚴重的破壞，並意識到能源這部分的危機，了解再生能源對人類的重要性。所以在再生能源開發這個部分進行大量的研究並不斷的改良，讓再生能源的潛力能夠發揮到極致，其中太陽能是再生能源發展的重點。在市面上有各式各樣的太陽追蹤系統，為建立自主的太陽追蹤系統之機構設計和控制技術，本論文參酌既有系統[14]，自行開發出雙軸太陽追蹤系統的機構本體及所需之電控系統。

### 2.1 簡述

整體上一般且常見的雙軸太陽追蹤器的基礎架構包括：東西向和南北向兩軸的轉動來追蹤的太陽位置，如圖 2-1 所示[14]。

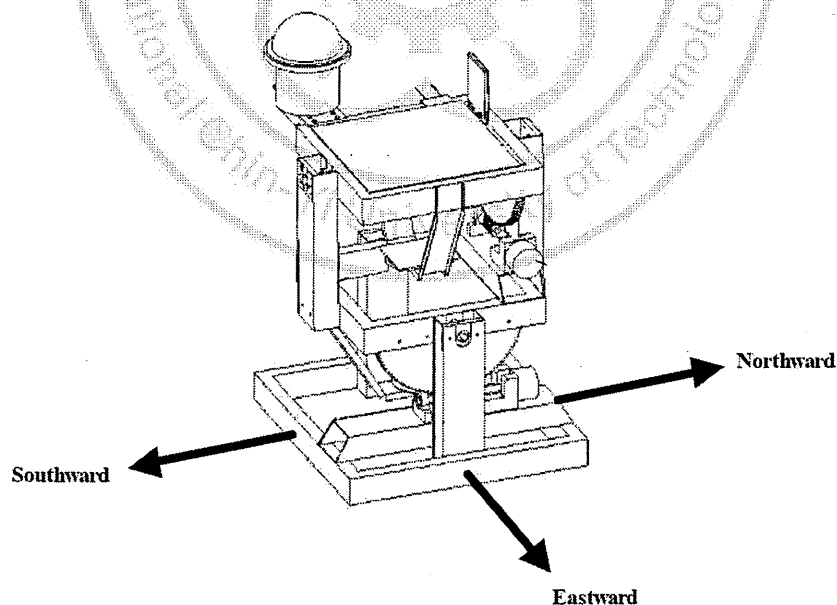


圖 2-1 一般雙軸太陽追蹤器各方位示意圖[14]

不論是追蹤機構的結構設計和精密度，或是感測器機構的設計和光敏電阻的選擇，這兩項元素都是本論文在太陽追蹤器整體系統中設計及考量的重點。

## 2.2 雙軸太陽追蹤系統架構

本論文所提出的雙軸太陽追蹤系統所設計的機構，在構造上大致分為垂直旋轉座、水平旋轉基座及控制箱體三大部分。在系統的頂部為垂直旋轉座，主要包括一承載平台 A、支撐轉軸 B 及馬達驅動模組 C；系統中間的主體為控制箱 D，位於控制箱下方的是水平旋轉基座。與垂直旋轉座同樣包括馬達驅動模組 E 及編碼器 F，其中減速機組藉由齒輪組耦合到一大型齒輪圓盤 G，其如圖 2-2 所示。

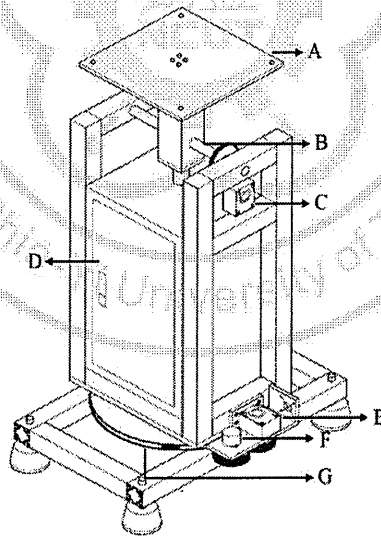


圖 2-2 雙軸太陽追蹤系統

## 2.2.1 垂直旋轉座

垂直旋轉座設置於追蹤系統頂部，是由以下三個主要的部分所構成，分別為：承載平台、支撐轉軸和馬達驅動模組，如圖 2-3 所示。其中 A 為一鋁製承載平台，主要功能為可在平台上裝設太陽能板。平台的中心處則設有可以裝設感測模組的螺孔，裝設感測模組後便可以用來判斷光線的來源，以便達到追蹤之目的。B 為鐵製支撐轉軸，主要功能為支撐並轉動承載平台，其轉幅為約左右各 $100^\circ$ ，如圖 2-4 所示。如此當基座置於東西向時，可使承載平台在每個方位均能完全面向太陽。C 為馬達驅動模組，是由一個齒輪組、減速機和馬達減速機組所構成，其主要的功能在負責垂直旋轉座的運轉部分。齒輪組的應用主要在提供足夠的扭力放大，俾能驅動承載平台上的負重。

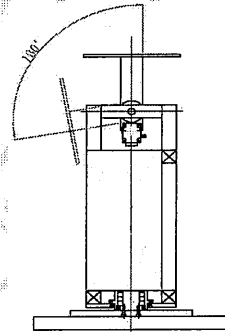
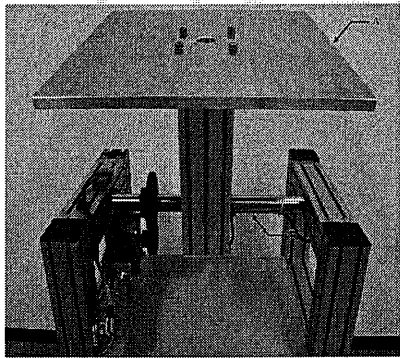


圖 2-3 雙軸太陽追蹤系統的垂直旋轉座      圖 2-4 承載平台的轉幅

本論文中，承載平台的轉動是由馬達帶動減速機，再利用齒輪組耦合到支撐轉軸，進而使承載平台轉動。其中在齒輪組中的齒輪，分別為 100 齒和 50 齒，故此齒輪組提供了放大 2 倍的扭力輸出。另外減速機減速比為 1:20，還有加裝在馬達上的減速機的減速比為 1:49，

經過這一連串的比例放大，從馬達輸出的扭力被放大 1960 倍，足以承載並帶動平台的運作。

## 2.2.2 控制箱

控制箱設置於追蹤系統中間的部位，是整個機構的主體。控制箱內部空間配置有電控系統，並預留有足夠的空間，以配置未來改良追蹤系統所需加裝的元件或設備。在控制箱的外部有四顆按鈕開關，主要控制系統的開、關、三段式切換和緊急斷電的功能，如圖 2-5 所示。

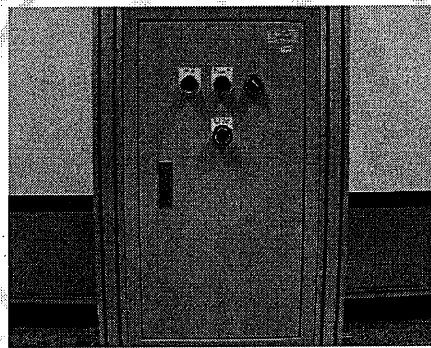


圖 2-5 雙軸太陽追蹤系統控制箱

另外在控制箱的內部，主要是以硬體電路的裝置為主，電路的配置為電源供應電路、馬達控制電路和感測器電路，經整體的電路配置來對系統做太陽的追蹤，以達到追蹤的目的，如圖 2-6 所示。

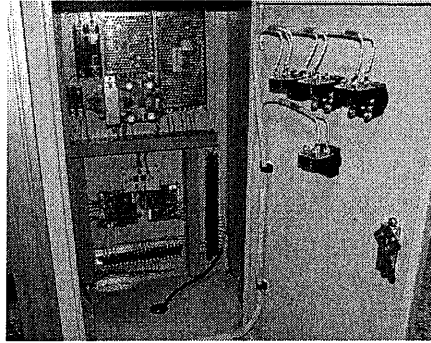


圖 2-6 雙軸太陽追蹤系統控制箱內部

### 2.2.3 水平旋轉基座

水平旋轉基座設置於控制箱的下方，是由以下三個主要的部分所構成，分別為：馬達驅動模組、編碼器和大型齒輪圓盤，如圖 2-7 所示。其中 E 為馬達驅動模組，和馬達驅動模組 D 一樣是由齒輪組、減速機和馬達減速機組所構成的。其功能一樣是負責整體系統機構的轉動，可轉動角度為 360 度，但在追蹤太陽實際的應用上，南北向所需轉動的角度很小，故實際上使用並不會轉動到這麼大的角度。其中和馬達驅動模組 D 最大的差異只在於減速比，由於馬達驅動模組 E 內的馬達需要帶動系統機構的轉動，所以在減速比上會有所調整。在本論文中，整體系統機構的轉動是由馬達帶動減速機，再利用齒輪組耦合到大型齒輪圓盤，進而使系統機構轉動。其中大型齒輪圓盤 G 的齒數為 500 齒，在齒輪組中的齒輪，分別為 100 齒和 40 齒，故大型齒輪圓盤耦合齒輪組共提供了 12.5 倍的扭力輸出，另外減速機減速比為 1:10，還有加裝在馬達上的減速機的減速比為 1:61，經過這一連串的比例放大，從馬達輸出的扭力被放大 7625 倍，在承載這方面的測試，不包含機構的重量，可承載約 300 公斤的重量。相同的，對於未來加裝在上面的設備範圍還是可以很廣泛的。F 為編碼器，在本論文中，追

蹤系統並不需對位置或轉速做回授信號的分析，故編碼器在本論文中是事先預留的一個裝置，以便未來欲改良追蹤系統架構或是新增系統功能時，這可以是一個對需要回授信號的系統有幫助的裝置。例如：若在未來改良可以用遠端傳輸信號時，機構上配合電位計做位置復歸，那在平時機構轉動的位置便可以時時刻刻掌握，不需要到現場，就能知道現在裝置的狀態，來進行紀錄、實驗或偵錯。

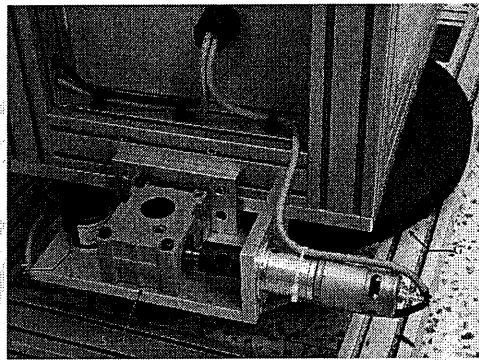


圖 2-7 雙軸太陽追蹤系統的水平旋轉基座

#### 2.2.4 減速機 (Gearboxes)

減速機的變速原理跟汽機車的變速箱原理相同，透過齒輪比的設計，來達到增速、減速的變化。減速機一般用於低轉速大扭矩的傳動設備，把電動機、內燃機或其它高速運轉的動力，透過減速機輸入軸上齒數少的齒輪，耦合輸出軸上的大齒輪來達到減速的目的，實際市售的減速機一般減、變速的方法如表 2-1 所示[15]。在普通的減速機也會有幾對相同原理的齒輪來達到理想的減速效果，其中大小齒輪的齒數比，就是傳動比[16]。

減速機的作用如下：

- (1) 減速的同時提高輸出扭矩，扭矩輸出比例按電機輸出乘減速比，但要注意不能超出減速機的額定扭矩。
- (2) 減速的同時降低了負載的慣量，慣量的減少為減速比的平方。

減速機的類別是根據所採用的齒輪齒形、齒廓曲線劃分；減速機的種類是根據應用的需要而設計的差異結構的減速機；減速機的类型是在基本結構的基礎上根據齒面硬度、傳動級數、出軸型式、裝配型式、安設型式和連接型式等因素而設計差異特性的減速機[17]。

一般常見的減速機有：1. 齒輪減速機、2. 蝸輪減速機、3. 無段變速減速機、4. 行星式齒輪減速機[15]。

表 2-1 市售減速機減、變速方式[15]

減、變速的方法	
齒輪式	齒輪、蝸輪傳動
	行星齒輪或傘齒輪
機械式	皮帶輪、鏈條
	圓柱、滾珠
	圓錐、圓盤
壓力式	油壓、氣壓
電器式	伺服馬達、變頻器

本論文所使用的減速機為日本TSUBAKI公司所生產的TM小型減速機，如圖 2-8 所示。分別安裝在垂直旋轉座和水平旋轉基座這兩個部分，並使用到不同減速比的減速機，其減速比分別為 1:10 和 1:20

的 TM 小型減速機，優點為體積小、扭力大、低噪音、不漏油、安裝容易、附活動腳座和可使用於多方向配置[18]。

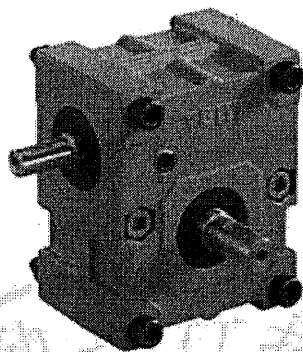


圖 2-8 TM 小型減速機[18]

### 2.2.5 直流馬達 (DC carbon brush motor)

在本論文中，雙軸太陽追蹤系統的垂直旋轉座和水平旋轉基座的運轉動作，是藉由兩顆直流馬達的運轉所帶動的。在這裡先簡略介紹直流馬達並討論其優、缺點。

直流馬達簡介[19]：

**構造：**直流馬達是由流通磁通鐵心、流通電流線圈、將外部所供應的直流電源，變換為旋轉速度同步交流的換向器、電刷，以及支持該設備的構造部門所組成。

**特徵：**雖然直流馬達的種類不同會有些許差異，但仍有下列共同特徵：1. 速度控制容易。2. 可以任意選擇起動轉矩，加減速轉矩，轉矩效率良好。3. 比交流機，尤其是比鼠籠型感應馬達貴。4. 換向器與電刷需要定期維



護。5. 在壞環境使用時，受構造上限制。6. 會有從換向器和電刷發生火花雜音。7. 由於換向或機械強度關係，高電壓化或高速化受到了限制。

種類：由於電樞回路與激磁回路接線方法的不同，故有下列各種馬達：1. 直流他激式馬達。2. 直流分激式馬達。3. 直流附穩定串激，分激式馬達。4. 直流複激式馬達。

起動方式：直流馬達在激磁磁通一定時，轉矩比例於電樞電流，因此可得效率極良好的起動。起動的方法有下列方式：1. 直接起動法。2. 使用起動電阻的手動起動法。3. 使用起動電阻的自動起動法。4. 加減電壓法。

制動方法：直流馬達制動方法表示於圖 2-9 所示。

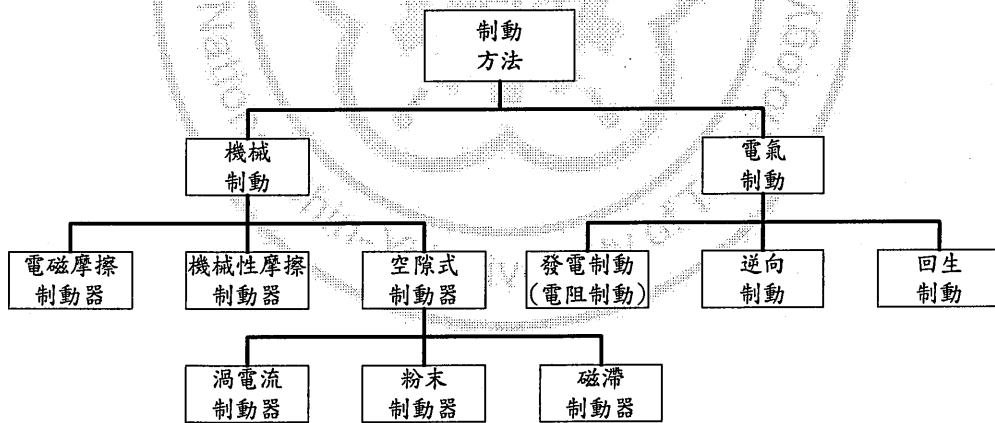


圖 2-9 直流馬達制動方法[19]

直流馬達的優、缺點如下[20]：

(1) 優點：

- 1、啟動轉矩大。
- 2、因為使用低電壓，所以絕緣設計很容易。

(2) 缺點：

- 1、因為有電刷壽命，所以和無刷馬達比較下，馬達的壽命較短。
- 2、會產生電氣雜音。
- 3、有電刷和整流子的摺動音。

在實際的使用上，特長如下：

- 1、小型且啟動轉矩強。
- 2、可以使用電池。
- 3、使用簡單的回路，迴轉數控制容易。
- 4、價格便宜。

基於上述這幾項實際使用的特長，相較於其他馬達的特性，還有實驗室研究的方向，故選用直流馬達來做為雙軸太陽追蹤系統的驅動器。

## 2.3 感測器機構設計

本論文所提出的雙軸太陽追蹤系統，在感測器的構造上大致可分為：光敏電阻、光敏電阻基座、感測器機構主體和感測器基座這四大部分，如圖 2-10 是感測器機構實體圖，圖 2-11 是利用 Google SketchUp 所畫的感測器機構。

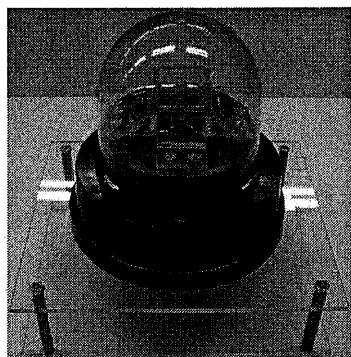


圖 2-10 感測器實體圖

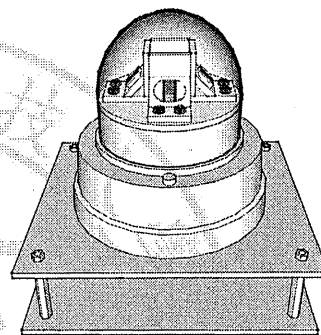


圖 2-11 感測器立體圖示

### 2.3.1 光敏電阻(Cadmium sulphide)

本論文的主要功能在於追蹤太陽，建立一個太陽追蹤系統，故在感測裝置中的感光元件對光源的偵測，必須在眾多的感光元件中，挑選出一種精準、可靠且合適的感光元件，來達到精準追蹤太陽的目標。

在本論文中，所使用的感光元件為光敏電阻，如圖 2-12 與 2-13 所示[21]。光敏電阻是一種光導電元件，當光照射到光敏電阻上時，其電阻值會發生變化。光照越強，光敏電阻的電阻值越小，在沒有光照的情況下測得光敏電阻的電阻值為“暗電阻”，通常為幾  $M\Omega$  到幾

十  $M\Omega$ ；在有光照的情況下測得電阻值為“亮電阻”，在光強度為 10 Lux 的時候，亮電阻通常為幾  $k\Omega$  到幾百  $k\Omega$ ，其特性曲線如圖 2-14 所示[22]。通常對於一個光敏電阻元件，它的暗電阻越大並且亮電阻越小，則說明它的靈敏度越好。另外，光敏電阻不但便宜，還具有以下良好的測量特性，故選光敏電阻作為感測器的感測元件。

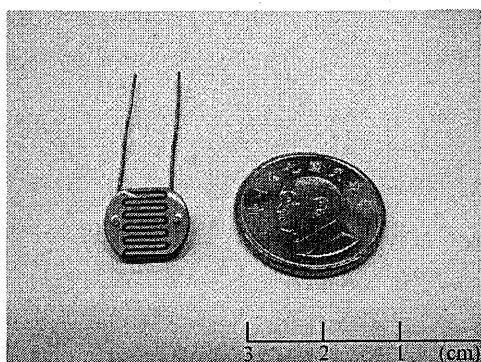


圖 2-12 光敏電阻實體圖

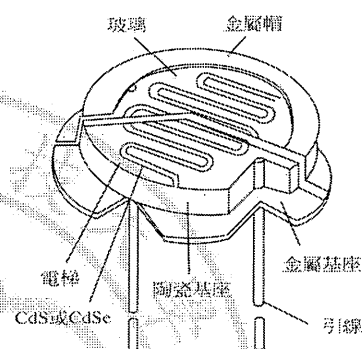


圖 2-13 光敏電阻構造圖[21]

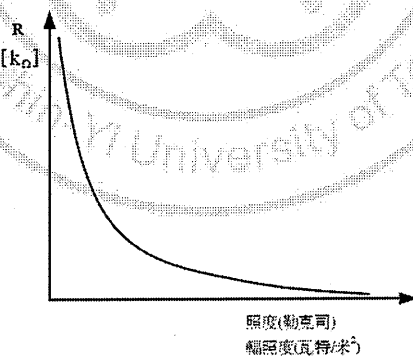


圖 2-14 光敏電阻特性曲線圖[22]

光敏電阻的特性：

- (1) 光敏電阻是利用光導電效應的半導體光感測器。
- (2) 光敏電阻是無極性（歐姆結構）。
- (3) 光敏電阻會隨著光能強度使內電阻改變的光可變電阻。
- (4) 光敏電阻當周圍環境變亮時，內電阻會下降。
- (5) 光敏電阻對於光的敏感性（光譜特性）約在  $0.4\sim 0.6\mu\text{m}$  與太陽光之可見光波長範圍  $0.38\sim 0.76\mu\text{m}$  的響應很接近，其對光譜特性之間的關係，如圖 2-15 所示[23]。

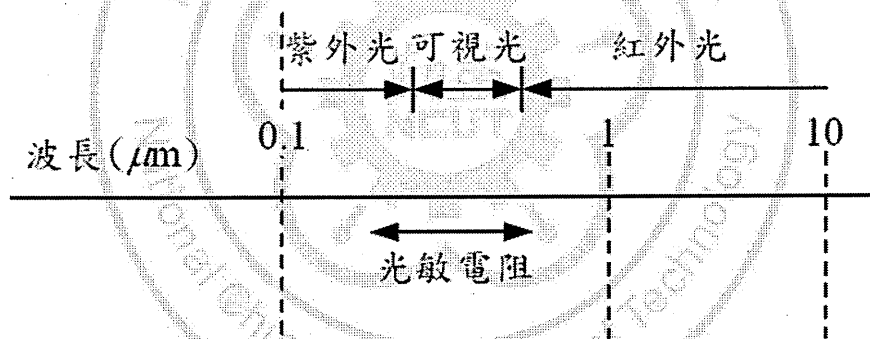


圖 2-15 光敏電阻對光譜特性之關係圖[23]

在本論文中，由於大量光敏電阻的規格不一，為了讓實驗的結果能有高度的重現性、良好的追蹤精度和能有穩定的數據做分析，故設計了一個簡單的電路，對大量的光敏電阻做分類，將規格接近的光敏電阻挑選出來，這樣就可以讓實驗能有高的重現性、良好的追蹤精度並獲得穩定的數據。其測試電路如圖 2-16 所示[14]，表 2-2 為光敏電阻的電子特性表[24]。

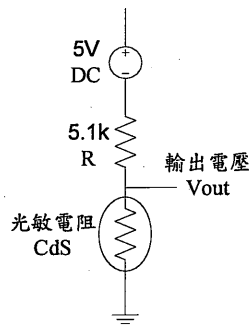


圖 2-16 光敏電阻測試電路[14]

表 2-2 光敏電阻電子特性[24]

型號	最大電壓 (VDC)	最大功率 (mW)	環境溫度 (°C)	光譜峰值 (nm)
PGM1200	250	250	-30~+70	560
PGM1201	250	250	-30~+70	560
PGM1202	250	250	-30~+70	560
PGM1203	250	250	-30~+70	560
PGM1204	250	250	-30~+70	560
PGM1205	250	250	-30~+70	560

型號	亮電阻 (10 Lux) (kΩ)	暗電阻 (MΩ) min	γ min	響應時間(ms)	
				上升	下降
PGM1200	2~5	1.0	0.6	30	40
PGM1201	4~10	2.0	0.7	30	30
PGM1202	8~20	5.0	0.7	30	30
PGM1203	18~50	10	0.8	30	30
PGM1204	45~150	20	0.8	30	30
PGM1205	140~300	20	0.8	30	30

### 2.3.2 光敏電阻基座

在本論文的感測系統中，是利用光敏電阻對光源強弱會改變阻值的特性來追蹤太陽，其中對光源的強弱做偵測時，為了要能在各方位之間做有效的差別，還能夠有最大的照射面積，故將光敏電阻傾斜放置約 45 度角。另外在基座機構的部分，是利用 AutoCAD 軟體畫出基座的機構結構圖，在材料方面則是用壓克力板，經自行加工後，即完成光敏電阻的基座。圖 2-17 為光敏電阻基座的實體圖，圖 2-18 是利用 Google SketchUp 所畫的光敏電阻基座圖。

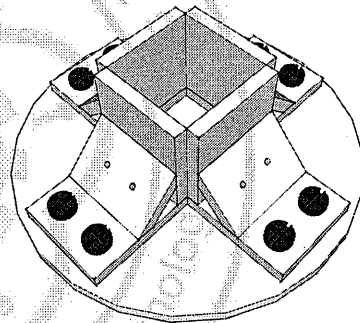
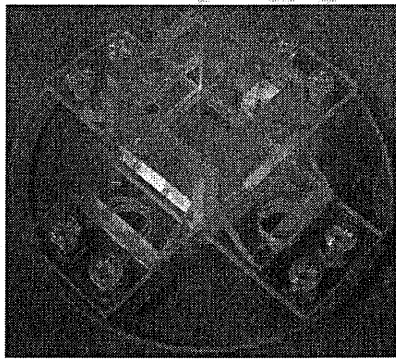


圖 2-17 光敏電阻基座實體圖

圖 2-18 光敏電阻基座立體圖示

### 2.3.3 感測器機構主體

在本論文中，感測系統的主體機構，是利用一般市售電動骰盅的主體，來當作感測器機構的主體，如圖 2-19 所示。圖 2-20 是利用 Google SketchUp 所畫的機構主體圖。在整體感測器機構的部分，唯獨機構主體是利用市售產品做直接的裝設。

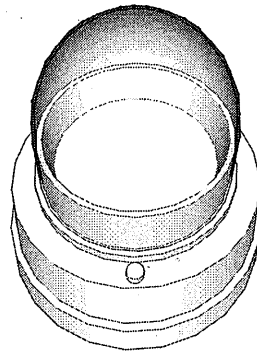
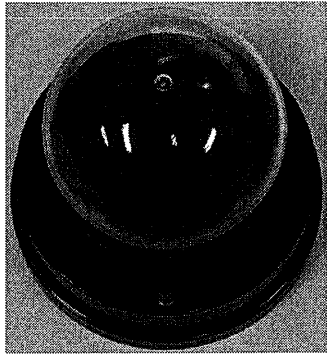


圖 2-19 感測器機構主體實體圖      圖 2-20 感測器機構主體立體圖示

#### 2.3.4 感測器基座

在本論文中，感測器並沒有直接安裝在承載平台上，是裝設在兩塊壓克力板所組成的感測器基座上，其裝設位置距承載平台約五公分的距離，如圖 2-21、2-22 與 2-23 所示。圖 2-22 是利用 Google SketchUp 所畫的感測器基座圖。主要的原因是，若將感測器直接安裝在承載平台上，把系統放在太陽底下對太陽做追蹤時，系統在追蹤的期間內，承載平台會不斷的被太陽照射，溫度會不斷的上昇，極有可能會因為承載平台的溫度不斷的升高，高溫對感測器主體的底部造成傷害。故裝設一感測基座平台，將感測器裝設的位置提高，不讓感測器主體與承載平台有直接的接觸，來保護感測器主體。



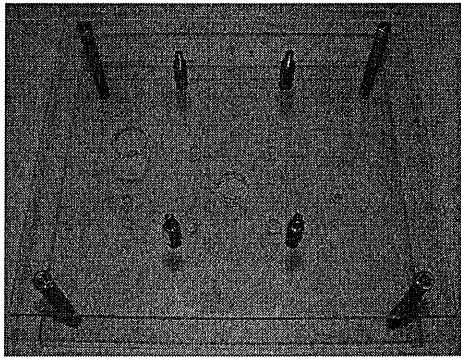


圖 2-21 感測器基座實體圖

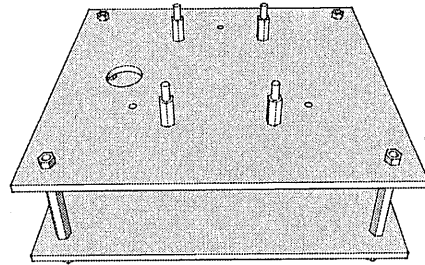


圖 2-22 感測器基座立體圖示

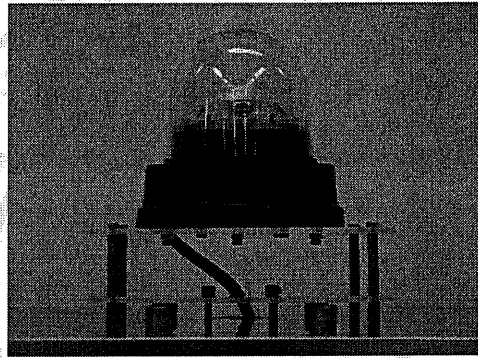


圖 2-23 感測器基座裝設位置(距平台約5公分)

## 2.4 完成之雙軸太陽追蹤系統機構

圖 2-24、2-25 與 2-26 為雙軸太陽追蹤系統之實體圖。圖中，感測裝置被安置在垂直旋轉座上，其中灰色的絞線是將感測器所接收到的訊號傳至控制箱內部控制板的線路。訊號在經電路調整及程式判別後，驅動馬達轉動，以達追蹤太陽的目的。

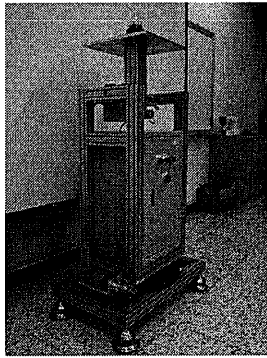


圖 2-24

太陽追蹤系統左視圖

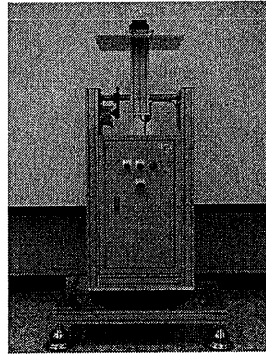


圖 2-25

太陽追蹤系統正視圖

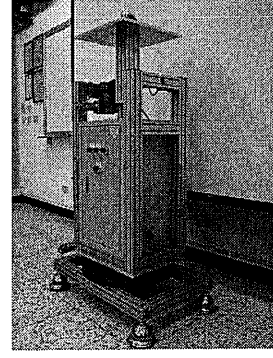
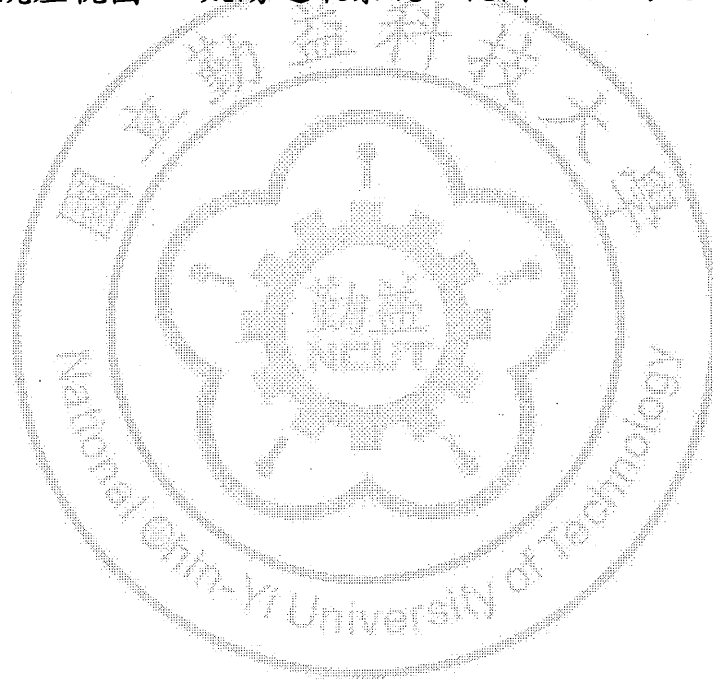


圖 2-26

太陽追蹤系統右視圖



## 第三章 電控系統設計

在工業界控制工程的領域中，不論系統大小或機構的精密度，電控系統就是整個工程的核心，其必須整合各部位功能，執行排程動作，來達到最終控制的目標。故在電控系統的設計，是非常重要的且不可或缺的。

於本章電控系統設計的主要架構中，可分為硬體電路設計、軟體程式設計及系統整合。以下章節將依伺服介面卡設計、感測電路設計及主控晶片的電控程式設計三個部分來做介紹。

### 3.1 伺服介面卡

本論文中所使用的伺服控制介面卡，是以直流伺服馬達控制為主，其數位式控制方塊圖，如圖 3-1 與 3-2 所示[25-26]。圖中是以微控制器作為控制系統的核心，其中控制器負責對輸入命令和回授信號做處理或演算，進而產生一控制信號。此一控制信號一般為小信號，藉由驅動器將控制信號放大，來驅動馬達運轉，並經編碼器產生回授信號，通過計數電路換算出位置的信號。另外，在馬達運轉同時，伺服介面卡中電流感測器對驅動馬達的電流做偵測，並將電流信號轉換成一電壓信號，經類比數位轉換裝置，將類比信號轉換成數位信號，把值傳回控制器做電流過載保護的動作，以完成控制迴路。

現今，隨著晶片製作技術的提升，許多與馬達驅動控制相關的功能模組，都已整合到微控制器中，使得馬達驅動控制變為更加的簡便。在本論文中是以 PIC18F8720 晶片做為伺服控制介面卡的控制核心。在 PIC18F8X20 系列的晶片是一顆高性能的 RISC CPU，可由 C 的編譯器做程式最佳化，並具有 2 個八位元計時器、3 個十六位元計時/計數器

和 5 個 CCP...等[27]，而且開發 PIC18F8X20 系列晶片的 Microchip 公司，有提供全系列的整合開發環境 MPLAB，支援 C 語言進程式開發，是個功能齊全的程式開發工具。

在本論文整體的控制流程中，並沒有使用到回授信號這個部分，只對光源感測所得到的信號做 A/D 轉換，並將信號傳回控制器做處理及運算，再對馬達做驅動，以達追蹤之目的。對於伺服控制介面卡中回授的部分，若在未來欲改良機構或程式，將可以很容易把這兩部分做結合，達到控制的目的。

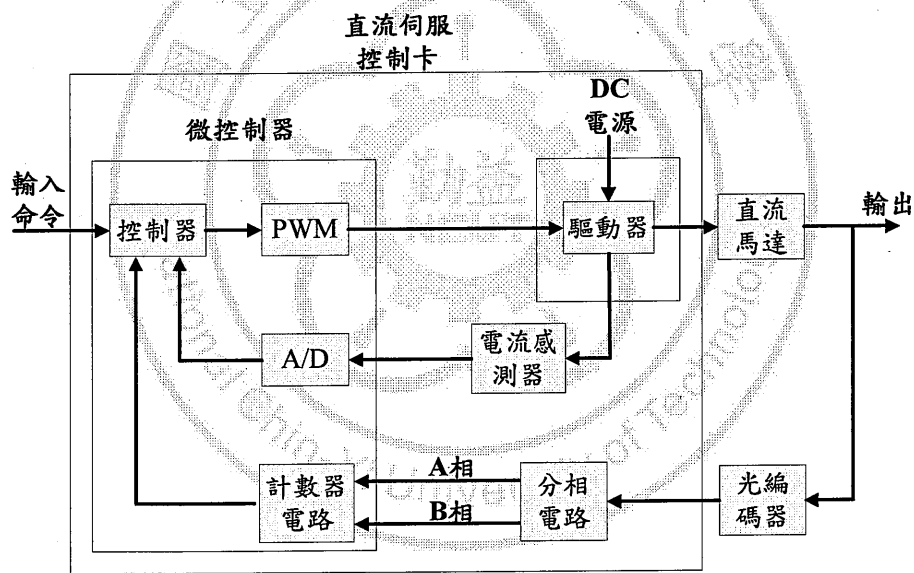


圖 3-1 直流伺服系統控制方塊圖[25-26]

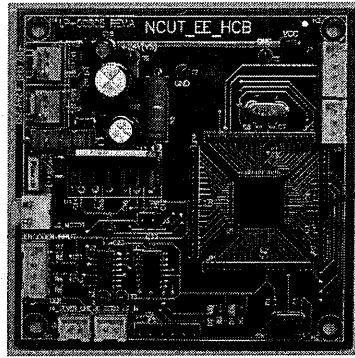


圖 3-2 直流伺服控制介面卡

### 3.2 馬達驅動電路

在以往普遍使用的馬達驅動電路為 H 型橋式驅動電路，如圖 3-3 所示[28]，是由電晶體或 MOSFET 等組合而成。於圖 3-4 中[28]，當 Q1 和 Q4 導通時，電流從電源正端經 Q1 由左至右穿過馬達，再經 Q4 回到電源負極。按圖中電流箭頭所示，該流向的電流將驅動馬達順時針轉動。於圖 3-5 中[28]，當 Q2 和 Q3 導通時，電流從電源正端經 Q3 由右至左穿過馬達，再經 Q2 回到電源負極。按圖中電流箭頭所示，該流向的電流將驅動馬達逆時針轉動。

在本論文中伺服控制介面卡所使用的是 SGS-THOMSON 公司的 L6203 全橋式驅動器，如圖 3-6 所示。其最高切換頻率可達 100kHz，最大額定電流達 5A，並具有過熱自我保護的功能[29]，可以滿足小型伺服馬達驅動的需求。

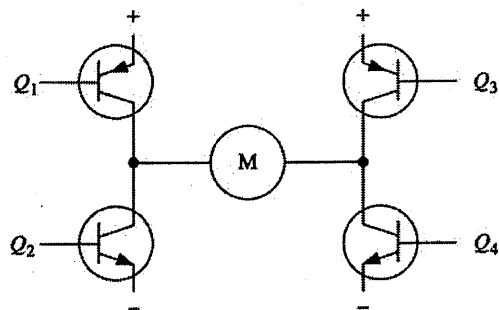


圖 3-3 H 型橋式驅動電路[28]

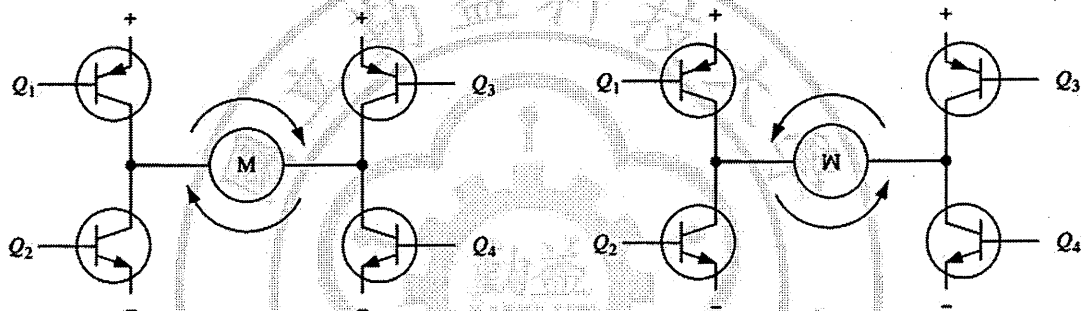


圖 3-4 馬達順時針運轉[28]

圖 3-5 馬達逆時針運轉[28]

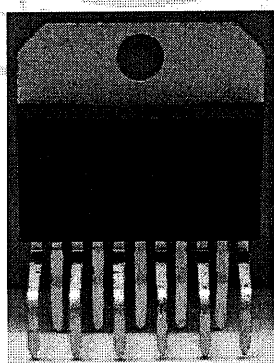


圖 3-6 L6203 實體圖

### 3.3 感測電路

本論文所提出的雙軸太陽追蹤器，其追蹤太陽的方法是先將方位分為兩組，分別是東西向和南北向，經儀表放大器和輸出電壓調整電路後，若以東西向為例，所得到的電壓信號為東邊和西邊光敏電阻受到光源強弱所產生的電壓差，便以此電壓信號來判別太陽的位置，進而驅動馬達的運轉，來追蹤太陽。其感測電路如圖 3-7 所示[8]。

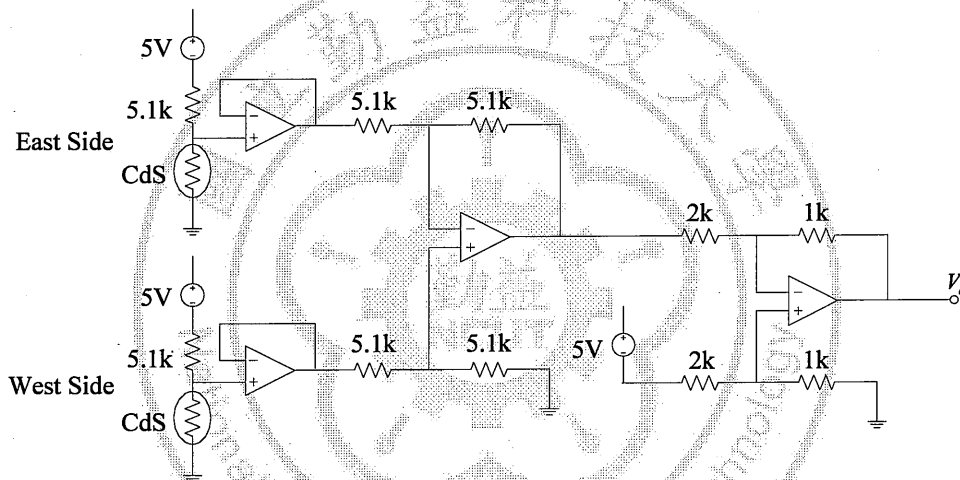


圖 3-7 感測電路[8]

#### 3.3.1 儀表放大器

在本論文感測電路中，其電路的組成分為兩個部分，分別為儀表放大器和輸出電壓調整電路。其中儀表放大器，如圖 3-8 所示，綜合非反相放大器的優點，以得到極高的輸入阻抗，同時擁有差值放大器的優點。

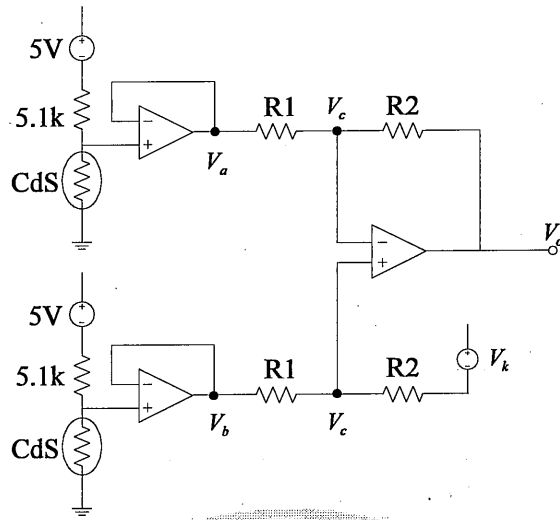


圖 3-8 儀表放大器

輸出電壓  $V_o$  的推導過程如下：

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{V_k - V_b}{R_1 + R_2} \times R_1 + V_b \\
 &= \frac{R_1(V_k - V_b)}{R_1 + R_2} + V_b \\
 &= \frac{R_1V_k - R_1V_b + R_1V_b + R_2V_b}{R_1 + R_2} \\
 &= \frac{R_1V_k + R_2V_b}{R_1 + R_2} \\
 V_o &= \frac{\left( \frac{R_1V_k + R_2V_b}{R_1 + R_2} \right) - V_a}{R_1} \times R_2 + \frac{R_1V_k + R_2V_b}{R_1 + R_2} \\
 &= \frac{\left( \frac{R_1V_k + R_2V_b - R_1V_a - R_2V_a}{R_1 + R_2} \right) R_2}{R_1} + \frac{R_1V_k + R_2V_b}{R_1 + R_2} \\
 &= \frac{R_1R_2V_k + R_2^2V_b - R_1R_2V_a - R_2^2V_a}{R_1^2 + R_1R_2} + \frac{R_1^2V_k + R_1R_2V_b}{R_1^2 + R_1R_2}
 \end{aligned} \tag{3-1}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{R_1 R_2 V_k + R_2^2 V_b - R_1 R_2 V_a - R_2^2 V_a + R_1^2 V_k + R_1 R_2 V_b}{R_1^2 + R_1 R_2} \\
&= \frac{(R_1^2 + R_1 R_2) V_k + (R_2^2 + R_1 R_2) V_b - (R_1 R_2 + R_2^2) V_a}{R_1^2 + R_1 R_2} \\
&= \frac{R_2 (R_1 + R_2)}{R_1 (R_1 + R_2)} V_b - \frac{R_2 (R_1 + R_2)}{R_1 (R_1 + R_2)} V_a + V_k \\
&= \frac{R_2}{R_1} V_b - \frac{R_2}{R_1} V_a + V_k \\
&= \frac{R_2}{R_1} (V_b - V_a) + V_k
\end{aligned}$$

故表示式為：

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_b - V_a) + V_k \quad (3-2)$$

歸納儀表放大器的優點如下[30]：

- (1) 具有極高的輸入阻抗
- (2) 具有差值放大的優點，能夠抵消共模雜訊
- (3) 只要改變一個電阻，就能夠控制整個儀表放大器的增益

因上述優點，故儀表放大器的組態在感測器的應用中，已被大量使用。

在本論文中，儀表放大器被分為兩個部分，分別為前端的光感測電路和後端的差動放大器。儀表放大器前端輸入的部分在本論文中稱光感測電路，如圖 3-9 與 3-10 所示。

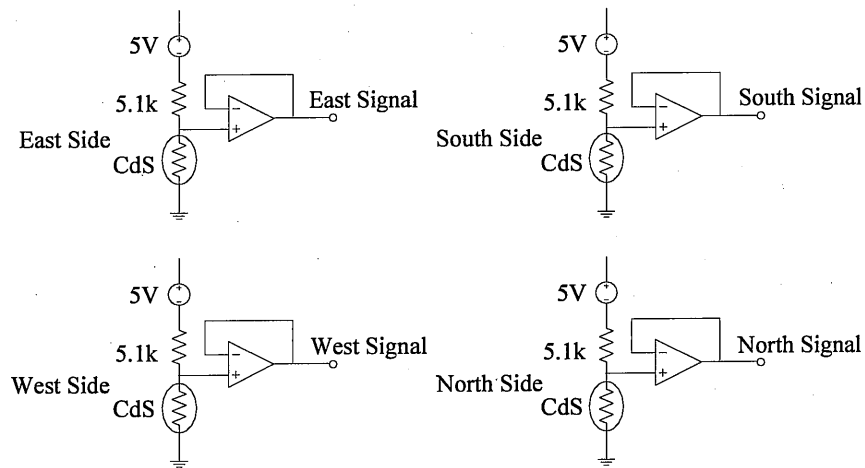


圖 3-9 光感測電路

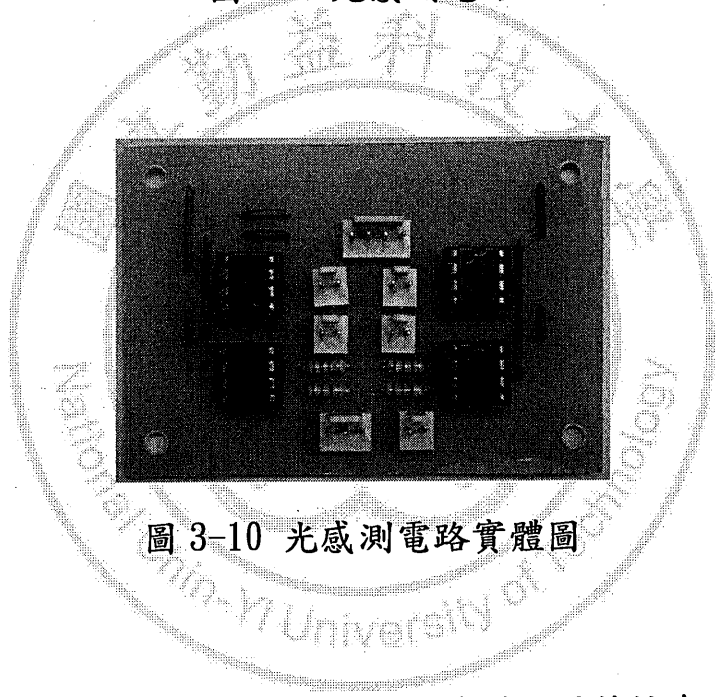


圖 3-10 光感測電路實體圖

光感測電路是利用光敏電阻對光源強弱，因特性會產生不同的阻值。故設計和一電阻分壓的電路，將分壓後得到的電壓值經 OP 741 構成的電壓隨耦器把電壓輸出，其輸出的電壓值即為光敏電阻經電路分壓後的值。其中電壓隨耦器的特性如下：

- (1) 增益為 1
- (2) 具有最大的頻寬
- (3) 極高的輸入阻抗

#### (4) 極小的輸出阻抗

在此利用電壓隨耦器的特性 3 和 4，其輸出信號便不會失真。儀表放大器後端的部分稱差動放大器，如圖 3-11 與 3-12 所示。其輸出信號是兩輸入信號相減後的值，其中  $R_1$  和  $R_2$  之間的比值，可以對輸出信號做倍數上的調整，公式為  $V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_b - V_a)$ 。

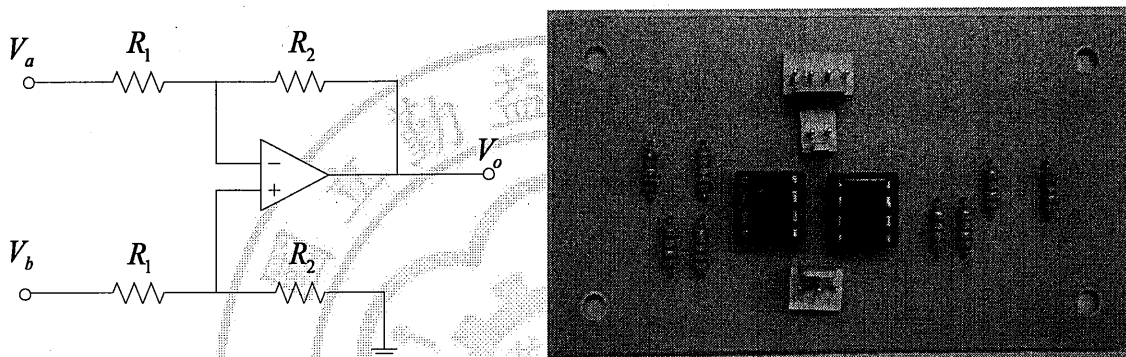


圖 3-11 差動放大器

圖 3-12 差動放大器實體圖

在文中儀表放大器前端和後端兩部分的電路，分別安裝在機構上的兩個位置。輸入部分的光感測電路，是被安置在感測器機構主體中，後端差動放大器的部分，則是被安置在控制箱內。雖然從光感測電路到差動放大器之間有一段距離，但因差動放大器能抵消共模雜訊，故輸出電壓  $V_o$  並不會因線路太長而出現雜訊。

在本論文中，以東西向為例，在前端光感測電路測得的輸出電壓為東邊和西邊的電壓值，經後端差動放大器，文中是把  $R_1$  和  $R_2$  之間的比值調整為 1 倍並將  $V_k$  接地，最後輸出電壓  $V_o$  即是東、西向之間的電壓差。另外，南、北向之間的電壓差，也是依循此方法即可獲得，這樣便可獲得這兩組方向間的壓差，來達到追蹤太陽的目標。

### 3.3.2 輸出電壓調整電路

在本論文中除了儀表放大器外，感測電路還包含另一個電路，即是輸出電壓調整電路。由於在光線照射於光敏電阻後，電壓信號經儀表放大器所輸出的電壓，為該組方向間的壓差。其中這輸出的壓差信號，會產生負號，但 PIC 晶片中輸入到 A/D 的電壓信號不能為負。為了能將電壓信號傳到 PIC 晶片內，做程式上的處理，故必須設計一電路，將負的電壓信號，修正至 PIC 晶片所能接受 0~5V 的範圍內，以下為電路設計的推導過程與電路圖。

目的：將輸入至 A/D 的信號電壓，調整至 0~5V 範圍內

過程： $V_i = -5 \sim 5V \rightarrow V_o = 0 \sim 5V$

$$\begin{cases} V_o = \frac{V_i + 5}{2} \\ V_o = \frac{5 - V_i}{2} \end{cases} \text{ 選取 } V_o = \frac{5 - V_i}{2} \rightarrow V_o = \frac{5}{2} + \left( \frac{-V_i}{2} \right) \quad (3-3)$$

初始電路圖，如圖 3-13 所示

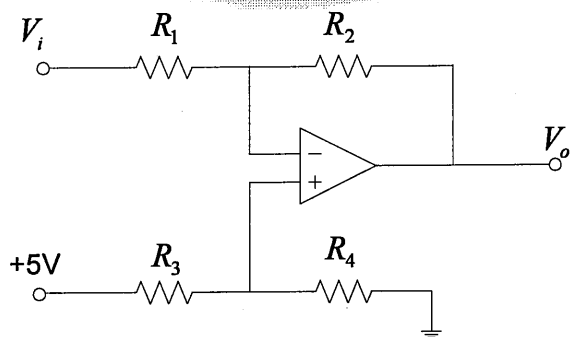


圖 3-13 初始電路

Step1：在  $V_o = -\frac{V_i}{2}$  的部分：

利用重疊原理，則電路變為反相放大器，如圖 3-14 所示。

可利用公式  $V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$  來推導，其推導如下：

$$V_o = -\frac{V_i}{2} \rightarrow V_o = -\frac{1}{2} V_i$$

$$\therefore \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{2} \rightarrow R_1 = 2R_2 \quad (3-4)$$

可得電路圖，如圖 3-15 所示

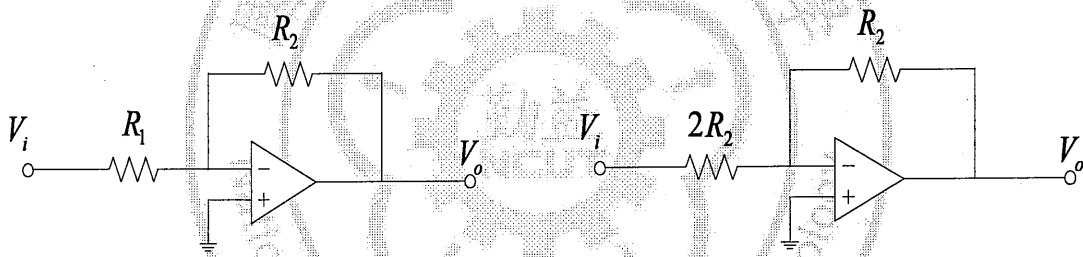


圖 3-14

圖 3-15

經重疊原理後的初始電路

經重疊原理推導後的初始電路

Step2：在  $V_o = \frac{5}{2}$  的部分：

利用重疊原理，則電路如圖 3-16 所示，其推導如下

$$V_o = \frac{5}{2} \rightarrow V_o = \frac{V^{(-)} - 0}{2R_2} \times R_2 + V^{(-)}$$

$$\frac{5}{2} = \frac{V^{(-)}}{2} + V^{(-)}$$

$$\frac{5}{2} = \frac{3V^{(-)}}{2}$$

$$V^{(-)} = \frac{5}{3}$$

$$V^{(-)} = V^{(+)} \rightarrow V^{(+)} = \frac{5}{3} \text{ 經分壓定理}$$

$$\frac{5}{3} = 5 \times \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\therefore R_3 = 2, R_4 = 1 \rightarrow R_3 = 2R_4 \quad (3-5)$$

可得電路圖，如圖 3-17 所示

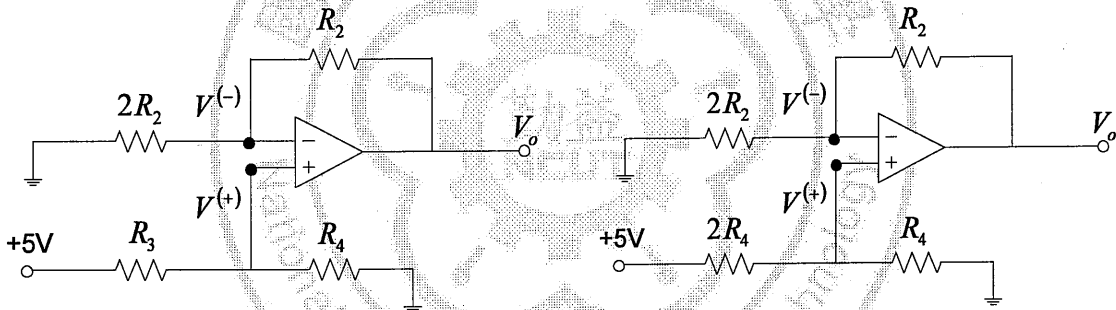


圖 3-16

經重疊原理後的初始電路

圖 3-17

經重疊原理推導後的初始電路

經上述兩個步驟推導後，最後得到的電路圖，如圖 3-18 和 3-19 所示。

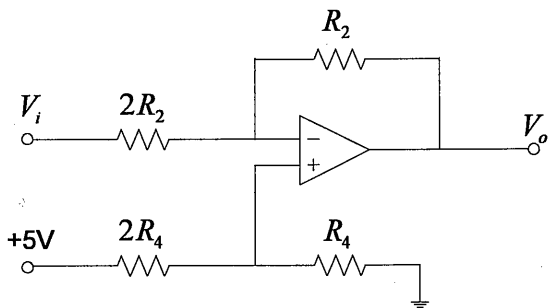


圖 3-18 輸出電壓調整電路

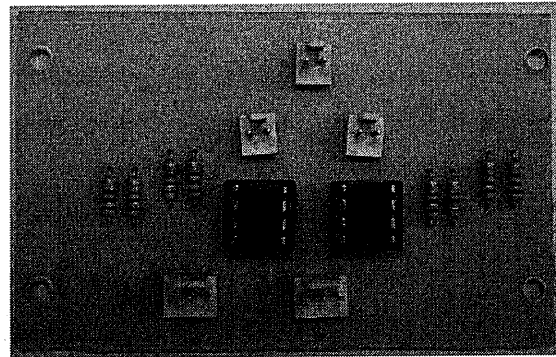


圖 3-19 輸出電壓調整電路實體圖

在整體感測電路的最後，安置這個電路，便可將輸出信號控制在 0 ~5V 的範圍內，以達信號輸入至 A/D 的要求。

### 3.4 程式流程

本論文所提出追蹤太陽的方法，是利用陽光對光敏電阻照射角度的不同，相對光敏電阻會產生不同阻值的特性。以東西向為例，將光敏電阻串連一電阻，經分壓後所得的電壓值，即為東邊和西邊的各個電壓。再將東西向之間的電壓做相減，接著便以相減後的電壓值，作為驅動馬達與否的判別依據，判斷電壓值是否落在需驅動馬達的範圍內。同理，南北向的判別也如同上述。

於微控制器的控制程式設計流程圖，以東西向為例，如圖 3-20 所示。介面卡開機時先行規劃周邊所使用的 IO 接腳、將使用到的參數初始化、設定 PWM 週期及工作週期、設定 Timer 和規劃 A/D 接腳，接著進入到主程式，進行對所測得光源的電壓變化做判斷，再決定是否驅動馬達進行追蹤。由於太陽移動相對於馬達驅動的時間常數相對緩慢，為節省追日系統運作的耗電用量，追蹤器的運作並非時時刻刻在進行。本論文僅在電壓的差異量達  $\pm 0.05V$  以上時，才會啟動馬達進

行追日的動作。另外，為了避免追蹤太陽時因雲經過，造成系統因壓差不斷跳動而馬達不斷的轉動，故做下述動作來避免不必要的能源輸出。若系統已追蹤到目標光源，先等待 10 秒，如果在這 10 秒內，壓差有超過設定值，便再重複前述動作。如果沒有，則停止感測 30 分鐘，等待下次感測啟動。

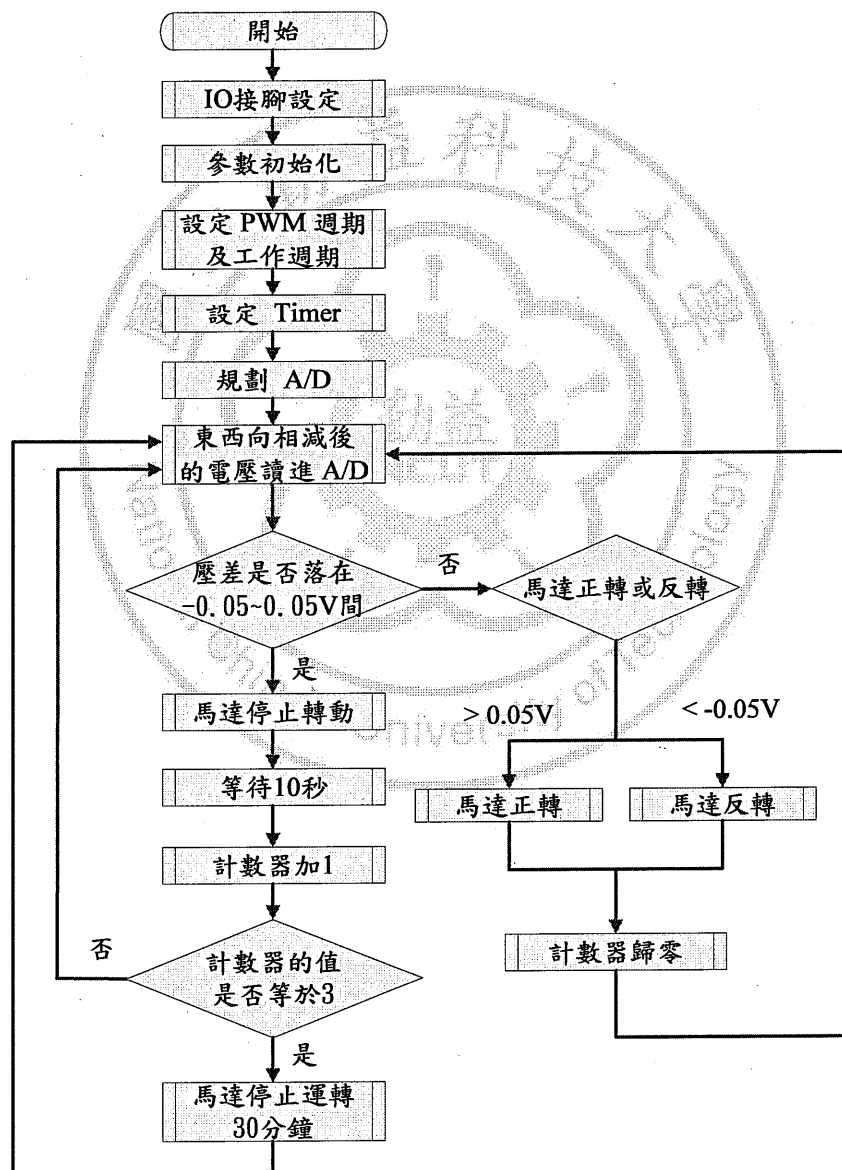


圖 3-20 程式流程圖



### 3.5 系統架構整合

雙軸太陽追蹤器整體系統的架構，大致上可分為下列幾項：感測機構、主體機構、儀表放大器、輸出電壓調整電路、伺服控制介面卡及馬達等。其結構分佈圖，如圖 3-21 所示。

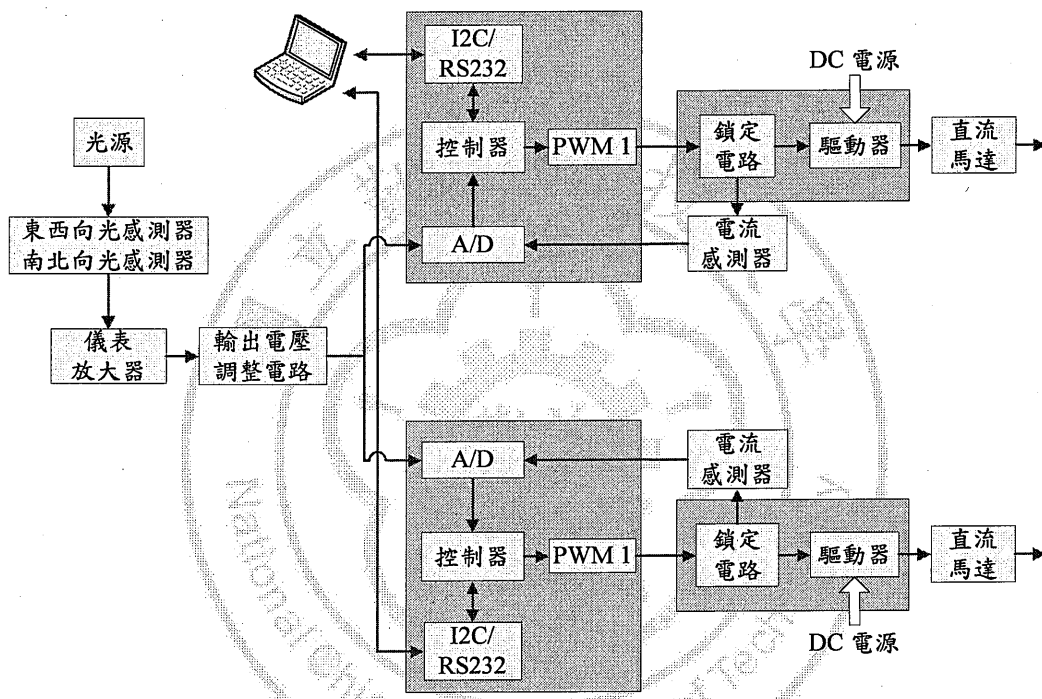


圖 3-21 系統整合架構圖

## 第四章 實驗測試與結果

本章節主要是介紹雙軸太陽追蹤系統各組件相關的資料、實驗方法與實驗結果。在組件方面，包含了光敏電阻、馬達及減速機，這三種主要裝置的相關規格表。另外，在實驗方面，本論文以兩種不同的燈光與太陽作測試，其中燈光的測試方法，於文中先以示意圖表示之，並將測試後的數據用表格建立，依數據來設計與修改程式。最後，用相片及放置在網頁的影片，來展示雙軸太陽追蹤器追蹤光源的成效。

### 4.1 各組件相關資料

於雙軸太陽追蹤系統中，光敏電阻、馬達及減速機，這三種裝置會影響系統感測精度與是否能正常動作的三種重要元素。為了能符合系統運轉需求與發揮最大效益，故必須考量種種因素來挑選適合的組件，配合安裝至系統中。在此列舉出，本論文所使用的光敏電阻、馬達及減速機各裝置之規格。

#### 4.1.1 光敏電阻相關資料

光敏電阻是本系統對外部光源感測，產生電壓信號的主要元件。若光敏電阻的電子特性，不符合光源特性與外在環境條件，那本實驗便不能進行。故光敏電阻的電子特性是非常重要的參考依據。表 4-1 為本論文所使用的光敏電阻其電子特性[24]。

表 4-1 光敏電阻電子特性[24]

型號	最大電壓 (VDC)	最大功率 (mW)	環境溫度 (°C)	光譜峰值 (nm)
PGM1201	250	250	-30~+70	560

型號	亮電阻 (kΩ)	暗電阻 (MΩ)	伽瑪特徵 $\gamma$	響應時間 (ms)	
				上升	下降
PGM1201	4~10	2.0	0.7	30	30

其中[24]：

亮電阻：用 400~600 Lux 光照射 2 小時後，在標準光源 A（色溫 2854k）下，用 10 Lux 光測量。

暗電阻：關閉 10 Lux 光照後第 10 秒的電阻值。

伽瑪特徵： $\gamma$  是指 10 Lux 照度下的標準值。

$$\gamma = \frac{\log\left(\frac{R_{10}}{R_{100}}\right)}{\log\left(\frac{100}{10}\right)} = \log\left(\frac{R_{10}}{R_{100}}\right), R_{10}、R_{100} \text{ 分別為 } 10 \text{ Lux,}$$

100 Lux 照度下的電阻值。 $\gamma$  的公差為 $\pm 0.1$ 。

最大功率損耗：環境溫度為 25°C 時的最大功率。

最大外加電壓：在黑暗中可連續施加給元件的最大電壓。

#### 4.1.2 馬達相關資料

在現今大多數的運轉系統中，通常是使用馬達做為主要的動力輸出來源。但市面上馬達的種類繁多，故在選擇上，必須考慮到系統的需求、成本及外在環境等因素，以符合動作要求。表 4-2 為本論文所使用的馬達其電子特性[31]。

表 4-2 馬達電子特性[31]

	額定電壓 Rated volt (V)	額定扭力 Rated torque (g-cm)	額定轉數 Rated speed (rpm)
IG-42GM 馬達	24	570	5900

	額定電流 Rated current (mA)	無負荷轉數 No load speed (rpm)	無負荷電流 No load current (mA)
IG-42GM 馬達	≤2100	7000	≤500

	額定出力 Rated output (W)	重量 Weight (g)	額定扭力 Rated torque (kg-cm)	額定轉數 Rated speed (rpm)
IG-42GM 馬達	34.7	360	16	122

#### 4.1.3 減速機相關資料

在雙軸太陽追蹤系統中，由於現階段只處於實驗測試階段，故在承載平台上只安裝感測器來進行實驗。若系統能成功追蹤太陽，未來便會在承載平台上安裝太陽能板，如果加裝太陽能板，則整體機構的重量會變的非常重。為了要使馬達能夠輸出足夠的扭力來轉動機構，故預先加裝減速機，利用減速機減速同時能提高輸出扭矩的特性，將

馬達輸出的扭力放大數倍，以便轉動機構追蹤太陽。本系統中，在減速機方面，安裝兩種不同的減速機，分別是馬達後端附設的減速機和日本 TSUBAKI 公司所生產的 TM 小型減速機，其規格如表 4-3 與 4-4 所示[31][18]。

表 4-3 馬達後端附設減速機規格[31]

	減速比 Reduction ratio	額定扭力 Rated torque (kg-cm)	額定回轉數 Rated speed (rpm)
IG-420049GM 馬達附設減速機	1:49	16	122
IG-420061GM 馬達附設減速機	1:61	18	102

表 4-4 TM 小型減速機規格[18]

	減速比 Reduction ratio
TM10E20A 減速機	1:20
TM10E10A 減速機	1:10

## 4.2 實驗測試方法與結果

此節主要對雙軸太陽追蹤系統架構進行測試，藉由改變光源種類，來測試系統穩定度。在此將光源的種類分為三種，分別是手提式日光燈、手提式燈泡和太陽來進行實驗。在這三種光源中，前兩種光源是在室內測試，並使用相同的方法來實驗，其主要測試元素分為兩個部分，分別是相對於感測器的角度和相距於感測器的距離。在角度方面，是以感測器為中心，水平面上每 30° 取一個照射光源的方向，並在此角度垂直面上範圍 180° 的平面中，每 30° 再取一個光源的方向。另外，在距離方面，依然是以感測器為中心，在每個角度線上，分別取距感測器 20、40、60 公分的三個點，做為光源位置。結合上述

這兩種元素，在這半球形的總測試光源位置共有 109 個。利用這些光源位置經實驗所獲得的值，可用來改良程式、了解系統精度與驗證此感測方法是否可行。圖 4-1 為燈光實驗方法示意圖。

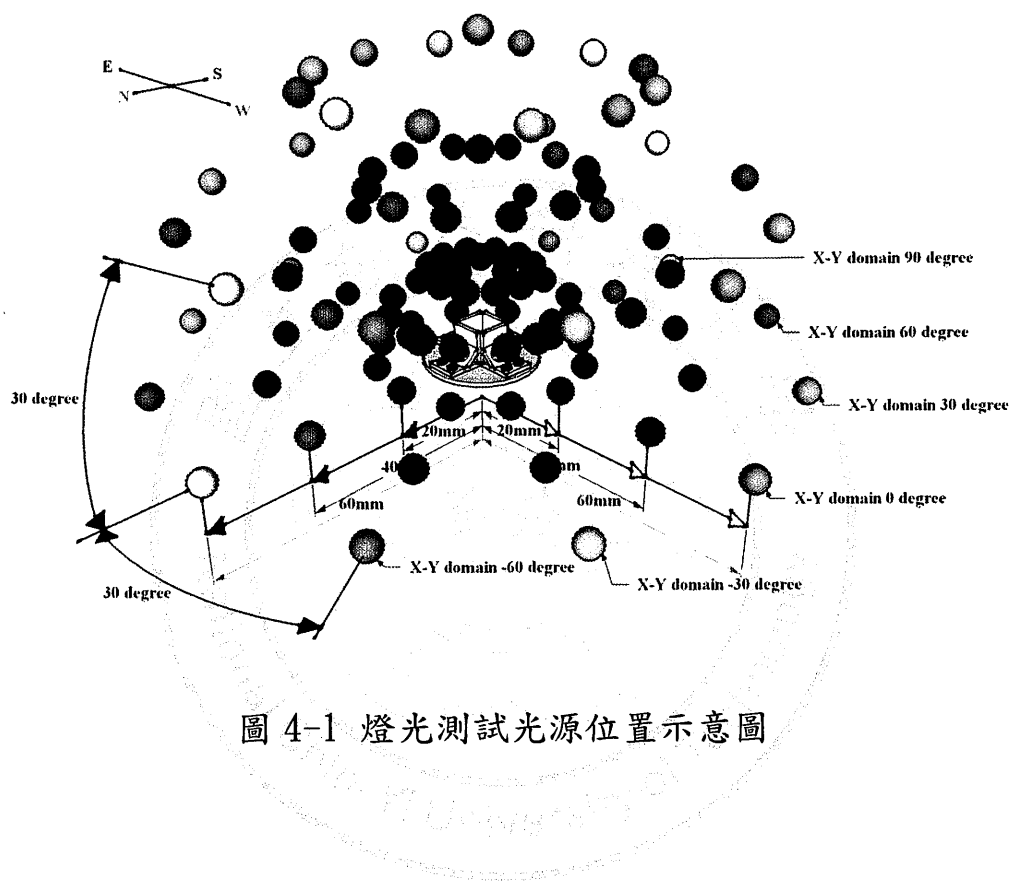


圖 4-1 燈光測試光源位置示意圖

#### 4.2.1 手提式日光燈

本實驗是使用手提式日光燈對追蹤系統做測試，其中手提式日光燈的規格是 110V AC、60Hz / 13W，其測試光源的位置如圖 4-1 所示。表 4-5、4-6、4-7 和 4-8 為使用手提式日光燈測試後，各方位光敏電阻的電壓數據表。圖 4-2 為實際測試照片，其測試的方法是，在室內手拿著日光燈，利用手持光源的位置，來模擬室外太陽大概的位置，並檢視系統追蹤效果如何。另外，實驗的影片也已上傳至網頁

<http://140.128.90.77/BBS/read.php?tid=2570> 中。

表 4-5 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度)

	X-Y 平面 0 度 (西邊) ●			X-Y 平面 30 度 ●			X-Y 平面 60 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 0 度									
東	2.8V	3.97V	4.46V	4.55V	4.8V	4.88V	4.79V	4.88V	4.91V
西	2V	3.56V	4.23V	2.35V	3.57V	4.34V	3.15V	4.21V	4.59V
南	4.53V	4.89V	4.92V	4.87V	4.92V	4.92V	4.51V	4.87V	4.91V
北	4.44V	4.92V	5V	3V	4.27V	4.68V	2.23V	3.73V	4.42V
Z 軸 30 度									
東	4.21V	4.78V	4.75V	4.67V	4.84V	4.88V	4.6V	4.82V	4.88V
西	2.02V	3.49V	4.11V	2.12V	3.57V	4.2V	2.89V	4.04V	4.51V
南	4.05V	4.57V	4.76V	4.74V	4.9V	4.92V	4.76V	4.9V	4.91V
北	3.45V	4.47V	4.78V	2.68V	3.9V	4.51V	2.49V	3.81V	4.39V
Z 軸 60 度									
東	4.58V	4.79V	4.84V	4.42V	4.71V	4.84V	3.94V	4.43V	4.67V
西	2.49V	3.72V	4.31V	2.73V	3.8V	4.36V	2.92V	4.04V	4.47V
南	3.63V	4.44V	4.67V	4.43V	4.66V	4.79V	4.74V	4.79V	4.86V
北	3.32V	4.42V	4.73V	2.87V	4.03V	4.53V	2.68V	3.88V	4.4V

表 4-6 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度)

	X-Y 平面 0 度 (西邊) ●			X-Y 平面 30 度 ●			X-Y 平面 60 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 90 度									
東	3.17V	4V	4.5V	3.17V	4V	4.5V	3.17V	4V	4.5V
西	3.18V	4.14V	4.52V	3.18V	4.14V	4.52V	3.18V	4.14V	4.52V
南	3.17V	4.24V	4.59V	3.17V	4.24V	4.59V	3.17V	4.24V	4.59V
北	2.94V	4.25V	4.61V	2.94V	4.25V	4.61V	2.94V	4.25V	4.61V
Z 軸 120 度									
東	2.3V	3.7V	4.31V	2.48V	3.67V	4.25V	2.79V	4V	4.44V
西	4.7V	4.92V	4.99V	4.7V	4.9V	4.99V	4.12V	4.61V	4.84V
南	3.73V	4.52V	4.74V	3.15V	4.13V	4.58V	2.68V	3.82V	4.45V
北	3.48V	4.49V	4.77V	4.51V	4.69V	4.85V	4.76V	4.89V	4.98V
Z 軸 150 度									
東	1.9V	3.56V	4.09V	2.16V	3.5V	4.16V	2.83V	3.88V	4.45V
西	4.09V	4.8V	4.83V	4.62V	4.91V	4.98V	4.67V	4.92V	5V
南	4.09V	4.66V	4.77V	3.18V	4.19V	4.56V	2.19V	3.71V	4.26V
北	4.17V	4.63V	4.89V	4.89V	4.98V	5V	4.53V	4.96V	5V
Z 軸 180 度									
東	1.82V	3.41V	4.15V	1.96V	3.48V	4.22V	3.12V	4.2V	4.62V
西	2.68V	3.77V	4.24V	4.39V	4.87V	4.95V	4.85V	4.99V	5V
南	4.69V	4.91V	4.92V	3.32V	4.32V	4.69V	2.2V	3.64V	4.26V
北	4.88V	5V	5V	4.92V	5V	5V	4.35V	4.89V	4.95V



表 4-7 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度)

	X-Y 平面 90 度 (西邊) ●			X-Y 平面 120 度 ●			X-Y 平面 150 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 0 度									
東	4.37V	4.85V	4.9V	3.03V	4.28V	4.64V	1.56V	3.52V	4.23V
西	4.45V	4.9V	5V	4.84V	5V	5V	3.8V	4.87V	4.98V
南	2.44V	3.57V	4.3V	4.7V	4.85V	4.91V	4.76V	4.91V	4.92V
北	1.58V	3.32V	4.24V	2.53V	3.8V	4.45V	3.4V	4.61V	4.87V
Z 軸 30 度									
東	3.31V	4.35V	4.68V	3.05V	4V	4.44V	2.18V	3.48V	4.22V
西	3.55V	4.29V	4.73V	4.8V	4.92V	5V	4.61V	4.91V	4.99V
南	4.09V	4.82V	4.78V	4.76V	4.9V	4.91V	4.75V	4.9V	4.92V
北	1.88V	3.43V	4.12V	2.56V	3.71V	4.43V	2.82V	4.05V	4.64V
Z 軸 60 度									
東	3.04V	4.19V	4.51V	2.65V	3.77V	4.33V	2.27V	3.64V	4.31V
西	3.24V	4.19V	4.55V	4.1V	4.7V	4.77V	4.67V	4.86V	4.99V
南	4.71V	4.87V	4.91V	4.7V	4.89V	4.91V	4.54V	4.68V	4.83V
北	2.34V	3.68V	4.33V	2.52V	3.95V	4.44V	2.75V	4.05V	4.6V

表 4-8 手提式日光燈測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度)

	X-Y 平面 90 度 (西邊) ●			X-Y 平面 120 度 ●			X-Y 平面 150 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 90 度									
東	3.17V	4V	4.5V	3.17V	4V	4.5V	3.17V	4V	4.5V
西	3.18V	4.14V	4.52V	3.18V	4.14V	4.52V	3.18V	4.14V	4.52V
南	3.1V	4.24V	4.59V	3.17V	4.24V	4.59V	3.17V	4.24V	4.59V
北	2.94V	4.25V	4.61V	2.94V	4.25V	4.61V	2.94V	4.25V	4.61V
Z 軸 120 度									
東	3.41V	4.17V	4.51V	3.85V	4.47V	4.72V	4.54V	4.71V	4.83V
西	3V	4.27V	4.59V	3.09V	4.07V	4.54V	2.52V	3.93V	4.34V
南	2.38V	3.8V	4.29V	2.61V	3.97V	4.44V	2.96V	4.22V	4.52V
北	4.7V	4.84V	4.92V	4.7V	4.85V	4.95V	3.92V	4.62V	4.77V
Z 軸 150 度									
東	3.57V	4.27V	4.69V	4.51V	4.82V	4.87V	4.7V	4.84V	4.87V
西	3.64V	4.44V	4.8V	3V	4.12V	4.5V	2.39V	3.65V	4.2V
南	1.87V	3.32V	4.12V	2.3V	3.67V	4.27V	3.2V	4.05V	4.54V
北	4.06V	4.8V	4.83V	4.76V	4.95V	5V	4.75V	4.94V	4.98V
Z 軸 180 度									
東	4.24V	4.79V	4.85V	4.8V	4.87V	4.9V	4.61V	4.8V	4.86V
西	4.77V	4.96V	5V	2.97V	4.26V	4.68V	2.43V	3.65V	4.3V
南	2.04V	3.51V	4.23V	2.13V	3.92V	4.35V	3.64V	4.46V	4.71V
北	2.91V	3.84V	4.45V	4.73V	4.95V	5V	4.94V	5V	5V

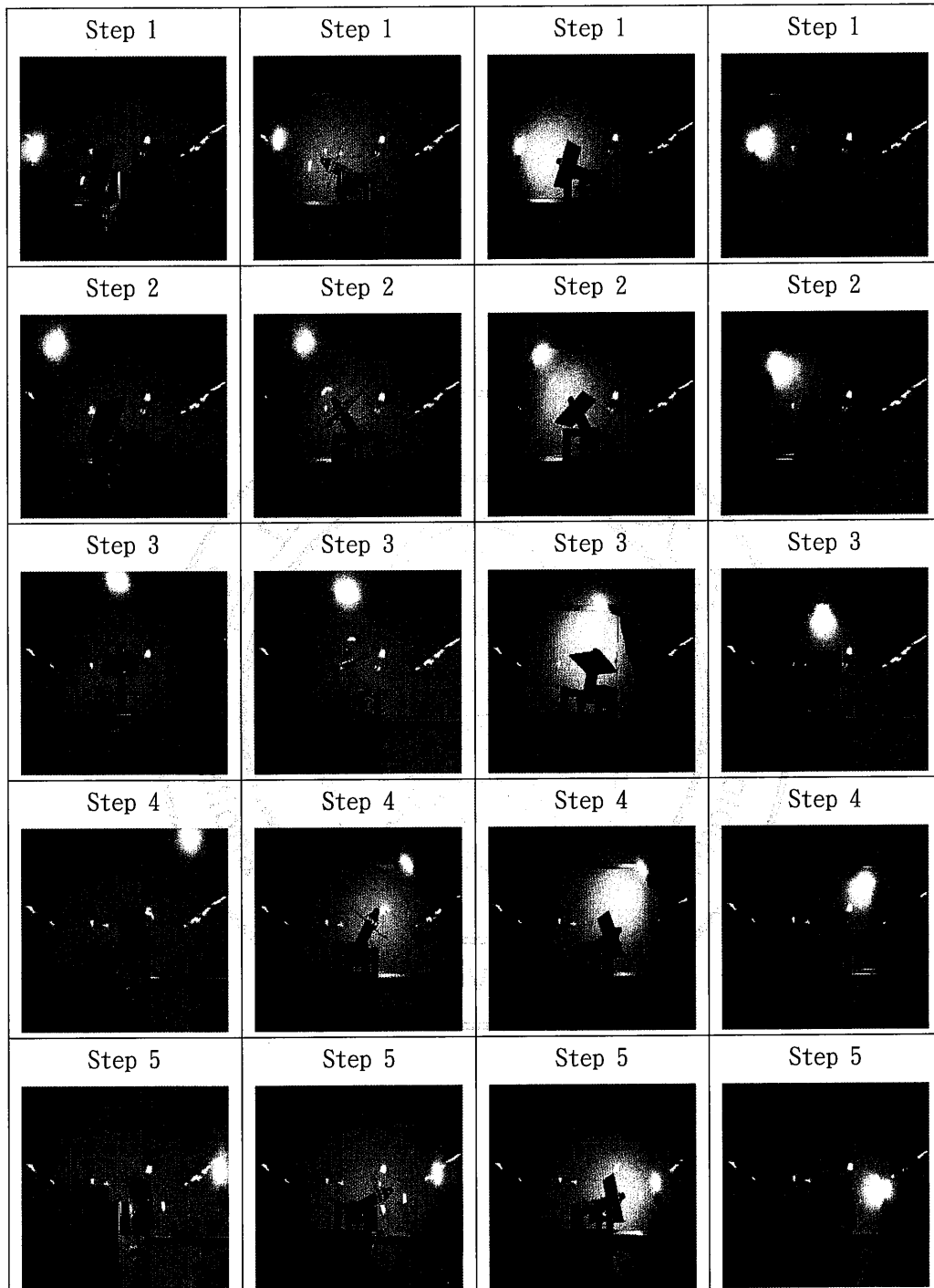


圖 4-2 手提式日光燈實際測試照片

經由上述實驗數據、照片和影片所示，可知燈源在室內移動時，系統能即時追蹤光源位置，並準確面向光源。對於本論文所提出的感測方法，驗證了在追蹤日光燈這方面是可行，且其追蹤的準確度並不會太差。

#### 4.2.2 手提式燈泡

本實驗是使用手提式燈泡對追蹤系統做測試，其中手提式燈泡的規格是 120V、200W，其測試光源的位置如圖 4-1 所示。表 4-9、4-10、4-11 和 4-12 為使用手提式燈泡測試後，各方位光敏電阻的電壓數據表。圖 4-3 為實際測試照片，其測試的方法是，在室內手拿著燈泡，利用手持光源的位置，來模擬室外太陽大概的位置，並檢視系統追蹤效果如何。另外，實驗的影片也已上傳至網頁 <http://140.128.90.77/BBS/read.php?tid=2571> 中。

表 4-9 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度)

	X-Y 平面 0 度 (西邊) ●			X-Y 平面 30 度 ●			X-Y 平面 60 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 0 度									
東	1.89V	3.18V	3.84V	4.4V	4.66V	4.77V	4.52V	4.77V	4.8V
西	1.25V	2.39V	3.17V	1.62V	2.65V	3.48V	1.8V	3.08V	3.94V
南	4.14V	4.75V	4.79V	4.62V	4.77V	4.82V	4.37V	4.75V	4.8V
北	4.44V	4.71V	4.78V	2.04V	3.34V	3.99V	1.25V	2.91V	3.69V
Z 軸 30 度									
東	2.44V	4.23V	4.43V	4.28V	4.64V	4.75V	4.47V	4.63V	4.75V
西	1.06V	2.24V	3.02V	1.2V	2.48V	3.1V	1.74V	2.82V	3.69V
南	2.84V	3.86V	4.32V	4.51V	4.69V	4.78V	4.36V	4.72V	4.78V
北	2.59V	3.61V	4.27V	1.77V	3.1V	3.77V	1.18V	2.58V	3.44V
Z 軸 60 度									
東	4.26V	4.47V	4.64V	4.28V	4.54V	4.71V	3.37V	3.87V	4.32V
西	1.4V	2.55V	3.27V	1.58V	2.66V	3.57V	1.65V	2.83V	3.59V
南	2.5V	3.42V	4.09V	3.97V	4.37V	4.61V	4.33V	4.69V	4.71V
北	2.5V	3.43V	4.05V	1.79V	3.08V	3.96V	1.27V	2.63V	3.56V

表 4-10 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 0~60 度)

	X-Y 平面 0 度 (西邊) ●			X-Y 平面 30 度 ●			X-Y 平面 60 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 90 度									
東	2.02V	3.22V	3.83V	2.02V	3.22V	3.83V	2.02V	3.22V	3.83V
西	2.31V	3.46V	3.89V	2.31V	3.46V	3.89V	2.31V	3.46V	3.89V
南	2.63V	3.77V	4.25V	2.63V	3.77V	4.25V	2.63V	3.77V	4.25V
北	2.1V	3.4V	3.92V	2.1V	3.4V	3.92V	2.1V	3.4V	3.92V
Z 軸 120 度									
東	1.44V	2.73V	3.52V	1.36V	2.69V	3.57V	1.82V	3.03V	3.75V
西	4.12V	4.6V	4.75V	4.1V	4.55V	4.74V	3.83V	4.2V	4.45V
南	2.96V	3.88V	4.34V	2.21V	3.31V	3.96V	1.54V	2.99V	3.64V
北	2.7V	3.85V	4.31V	3.14V	4.12V	4.56V	4.37V	4.63V	4.76V
Z 軸 150 度									
東	1.08V	2.66V	3.39V	1.11V	2.47V	3.44V	1.52V	3.07V	3.96V
西	2.48V	4.37V	4.44V	3.65V	4.55V	4.76V	4.2V	4.7V	4.86V
南	2.98V	4.17V	4.5V	1.72V	3.47V	4.02V	1.25V	2.75V	3.64V
北	3.36V	4.14V	4.56V	4.3V	4.6V	4.89V	4.41V	4.79V	4.87V
Z 軸 180 度									
東	1.07V	2.54V	3.42V	1.05V	2.85V	3.4V	2.27V	3.46V	4.16V
西	2.04V	3.28V	3.65V	3.57V	4.54V	4.71V	4.52V	4.79V	4.9V
南	4.6V	4.78V	4.83V	2.87V	3.94V	4.28V	1.12V	2.55V	3.63V
北	4.72V	4.86V	4.91V	4.71V	4.89V	4.92V	3.94V	4.6V	4.83V

表 4-11 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度)

	X-Y 平面 90 度 (西邊) ●			X-Y 平面 120 度 ●			X-Y 平面 150 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 0 度									
東	4.48V	4.76V	4.8V	2.77V	3.83V	4.24V	1.16V	2.85V	3.68V
西	4.43V	4.83V	4.91V	4.5V	4.84V	4.91V	4.11V	4.68V	4.83V
南	2.34V	3.39V	4.13V	3.96V	4.68V	4.79V	4.62V	4.8V	4.85V
北	1.12V	2.85V	3.76V	1.45V	3.12V	3.96V	3.13V	4.26V	4.59V
Z 軸 30 度									
東	3.07V	4.09V	4.44V	1.72V	3.17V	3.88V	1.13V	2.82V	3.44V
西	2.35V	3.62V	4.35V	4.19V	4.58V	4.85V	4.12V	4.68V	4.79V
南	2.67V	4.53V	4.6V	4.31V	4.72V	4.79V	4.48V	4.76V	4.81V
北	1.05V	2.76V	3.6V	1.32V	2.99V	3.77V	1.93V	3.44V	3.99V
Z 軸 60 度									
東	2.52V	3.52V	4.14V	1.75V	3.2V	3.84V	1.42V	2.87V	3.54V
西	2.11V	3.45V	4.02V	3.3V	4.13V	4.4V	4.11V	4.66V	4.76V
南	4.38V	4.72V	4.77V	4.46V	4.74V	4.76V	4.12V	4.44V	4.55V
北	1.25V	2.98V	3.75V	1.54V	3.16V	3.83V	1.92V	3.36V	3.98V

表 4-12 手提式燈泡測試數據表 (X-Y 平面 90~150 度)

	X-Y 平面 90 度 (西邊) ●			X-Y 平面 120 度 ●			X-Y 平面 150 度 ●		
	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm	20cm	40cm	60cm
Z 軸 90 度									
東	2.02V	3.22V	3.83V	2.02V	3.22V	3.83V	2.02V	3.22V	3.83V
西	2.31V	3.46V	3.89V	2.31V	3.46V	3.89V	2.31V	3.46V	3.89V
南	2.63V	3.77V	4.25V	2.63V	3.77V	4.25V	2.63V	3.77V	4.25V
北	2.1V	3.4V	3.92V	2.1V	3.4V	3.92V	2.1V	3.4V	3.92V
Z 軸 120 度									
東	2.27V	3.39V	4V	2.72V	3.9V	4.12V	4.19V	4.52V	4.59V
西	2.84V	3.6V	4.07V	1.7V	3.1V	3.64V	1.48V	2.61V	3.47V
南	1.58V	2.81V	3.62V	1.37V	2.88V	3.52V	1.9V	3.13V	3.95V
北	4.42V	4.63V	4.76V	4.34V	4.62V	4.68V	3.47V	4.06V	4.24V
Z 軸 150 度									
東	3.93V	3.68V	4.26V	4.38V	4.47V	4.76V	4.29V	4.7V	4.77V
西	3.59V	4.06V	4.45V	2.01V	3.09V	3.77V	1.24V	2.61V	3.29V
南	1.23V	2.48V	3.37V	1.25V	2.51V	3.42V	1.85V	3.23V	3.96V
北	2.67V	4.52V	4.65V	4.42V	4.73V	4.83V	4.48V	4.63V	4.77V
Z 軸 180 度									
東	4.28V	4.64V	4.74V	4.63V	4.8V	4.8V	4.2V	4.68V	4.79V
西	4.43V	4.81V	4.88V	2.54V	3.52V	4.09V	1.17V	2.52V	3.32V
南	1.07V	2.57V	3.46V	1.56V	2.8V	3.66V	2.14V	3.32V	4.05V
北	1.65V	3.29V	3.95V	4.37V	4.75V	4.87V	2.64V	4.82V	4.88V



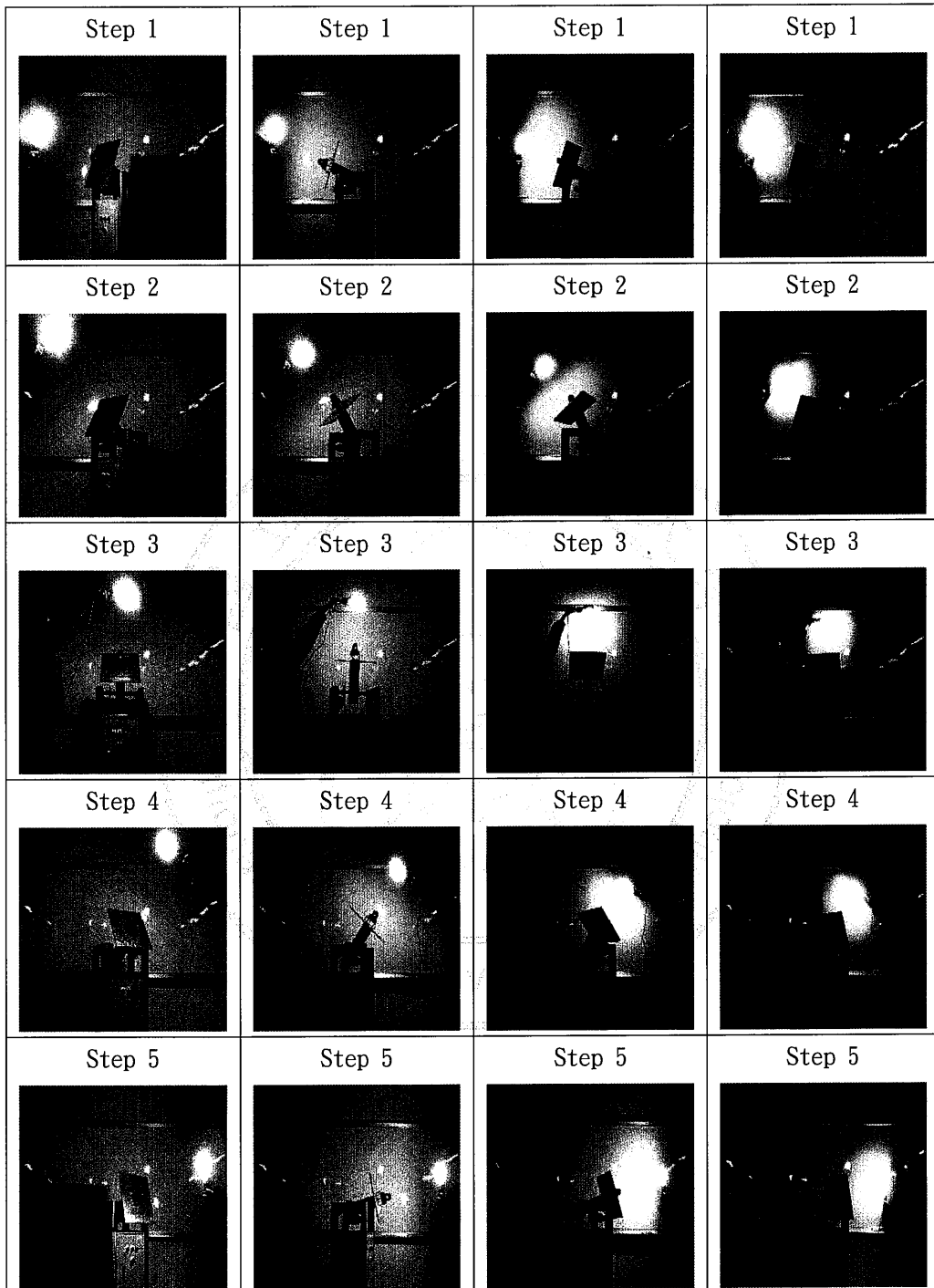


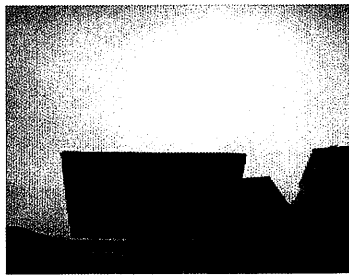
圖 4-3 手提式燈泡實際測試照片

經由上述實驗數據、照片和影片所示，可知燈源在室內移動時，系統能即時追蹤光源位置，並準確面向光源。對於本論文所提出的感測方法，驗證了在追蹤燈泡這方面是可行，且其追蹤的準確度並不會太差。

### 4.2.3 太陽光

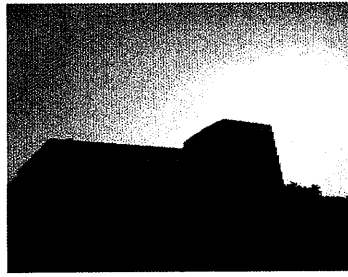
本實驗是將系統移至室外，對追蹤太陽位置的成效做測試，測試系統是否能精確地追蹤到太陽的位置。在先前的兩個光源實驗中，測試場地都位於室內，而且這兩種光源不可見光的成分，並沒有佔整體光源中很大的比例[32]。另外由於光源照射的強度並不強，所以光照射的範圍相對的也就比較小。由上述可知，在先前兩種光源的測試中，會影響結果的元素是很少的，即便前兩項的實驗非常成功。但相對於太陽這個目標，會影響結果的元素非常多，所以其追蹤的效果相對於前兩項實驗，可能會有相當程度的落差。在本論文中，最終的目標是希望將太陽能的轉換效益提升至最大，故本次的實驗即是把太陽作為測試光源，驗證理論的可行性並測試系統之精確度與穩定度。

圖 4-4 為系統在室外實際測試的照片，其實驗的起始時間為早上 11 點，每隔三個小時到現場一次，觀察系統是否有追蹤到太陽的位置。另外，在實驗剛開始時，系統啟動追蹤太陽的影片也已上傳至網頁 <http://140.128.90.77/> 中。



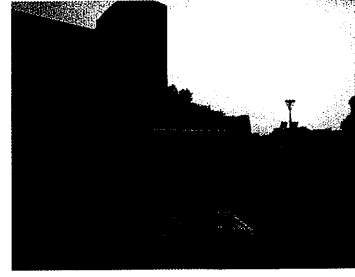
早上 11 點

機構追蹤狀態



下午 2 點

機構追蹤狀態



下午 5 點

機構追蹤狀態

圖 4-4 室外陽光實際測試照片

經由上述照片和影片所示，可知系統在室外未能準確的追蹤且面向太陽，並能觀察出在這三個時間點上，感測平台面向的方位和太陽位置，各別相差約 10 度、30 度和 45 度。經實驗測試後，由結果可推得出，未能精確追蹤到太陽位置的原因可能如下：以東西向為例，系統是利用東方和西方光敏電阻間的電壓差，做為驅動馬達與否的標準。當馬達停止轉動，即代表兩邊的光敏電阻所受之照度已接近。在本實驗中，感測平台為何不能準確追蹤到太陽的位置，其可能是各方位的光敏電阻間，對於照度的隔絕不夠完善。還有當陽光照射到感測器上方半圓形的蓋子時，光線會反射至另一邊的光敏電阻，而造成電壓差容易達到平衡的狀態。在感測平台尚未準確面向太陽時，系統就已將狀態判斷為光照平衡，使感測平台不能準確面對太陽的情況發生。

為了改善因照度隔絕不夠和光照反射，而造成各方位之間的照度，在感測平台尚未完全面向太陽時，就已達平衡的一個情況。故在光敏電阻基座上，多加裝了一塊黑色的十字隔絕板，強化各方位之間照度的隔絕，侷限了光源只能從感測器的上方照射進入；另外，將感測器上方的蓋子移除，避免光照反射，使系統能更精確追蹤到太陽的

位置。圖 4-5 為尚未改良的感測器。圖 4-6 為改良後的感測器。

圖 4-7 為系統經機構上的改良後，在室外實際測試的照片。實驗的起始時間為早上 11 點，每隔三個小時到現場一次，觀察系統是否有追蹤到太陽的位置。另外，在實驗剛開始時，系統啟動追蹤光源的影片也已上傳至網頁 <http://140.128.90.77/> 中。

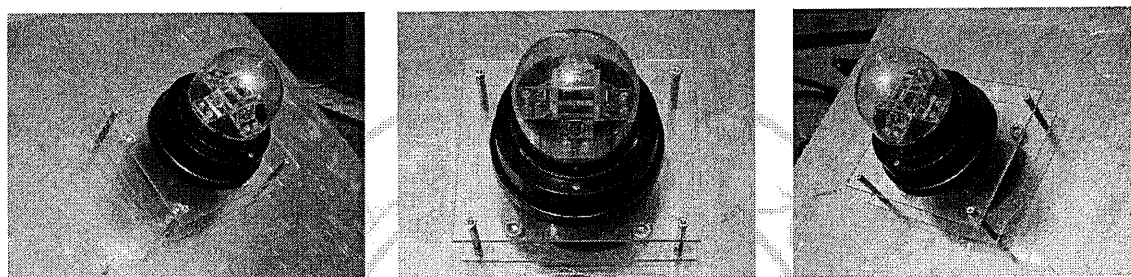


圖 4-5 感測器尚未改良的照片

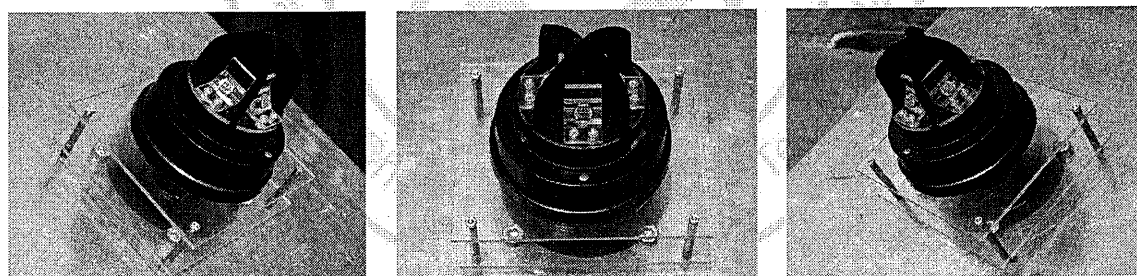
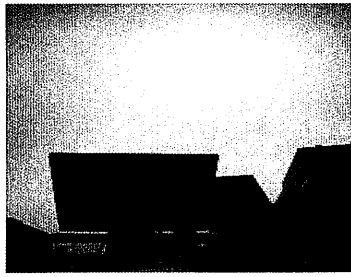
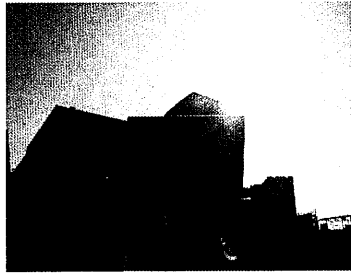


圖 4-6 感測器改良後的照片



早上 11 點

機構追蹤狀態



下午 2 點

機構追蹤狀態



下午 5 點

機構追蹤狀態

圖 4-7 感測器改良後在室外陽光實際測試照片

經由上述照片和影片所示，可知系統經過機構上的改良後，在室外追蹤太陽其誤差的角度縮小至 15 度以內的範圍。對於本論文所提出的感測方法，驗證了在追蹤太陽這方面是可行，且其追蹤的準確度並不會太差。

### 4.3 雙軸太陽追蹤系統耗電量估算

在眾多的再生能源研究中，其研究方向大致上可分為兩種，一種是研究新的再生能源開發，另外一種則是研究如何將已開發的再生能源能，發揮其最大效益。在本論文中所研究的方向，即是在探討如何將太陽能的效益發揮到最大，針對機構改良成雙軸的追蹤系統。本系統在追蹤光源的過程中，是利用兩顆 DC 馬達帶動兩軸的轉動。因此對於馬達所消耗的電量在整體發電效率中，成為了一個重要的因素。故便對這兩顆 DC 馬達做了耗電量的初步估算。在下列表 4-13 中，即是兩顆馬達耗電量估算的結果。另外，表 4-14 是對機構的承載能力做載重測試，即是在機構的承載盤上，放置一個約 9.1 公斤重的重物做重物測試，所測得的值為兩顆馬達耗電量估算的結果。

表 4-13 馬達耗電量估算

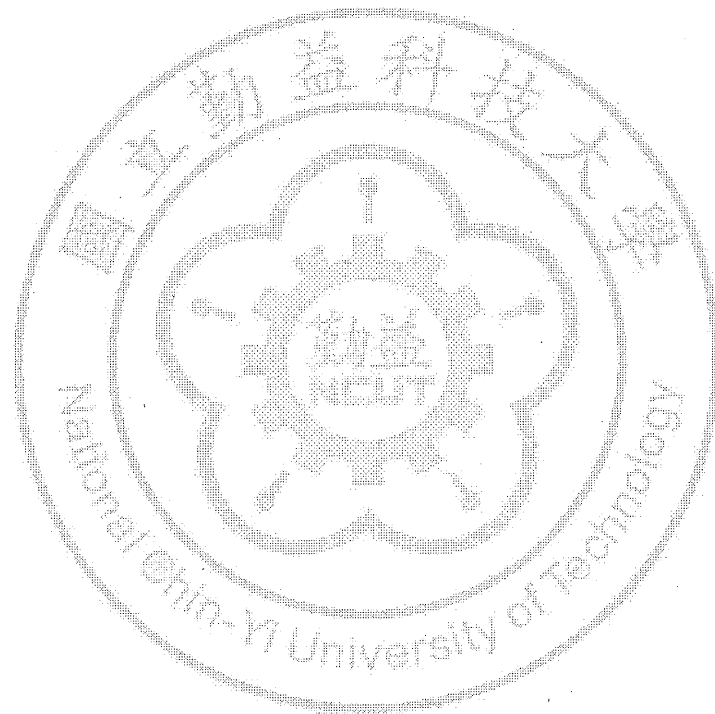
	垂直旋轉座的驅動馬達	水平旋轉基座的驅動馬達
供給電壓 (V)	24	24
消耗電流 (A)	1	0.63
消耗瓦數 (W)	24	15.12

表 4-14 重物測試的馬達耗電量估算

	垂直旋轉座的驅動馬達	水平旋轉基座的驅動馬達
早上七點到早上十點 平均供給電壓 (V)	22.51	23.35
早上七點到早上十點 平均消耗電流 (A)	3.085	1.845
早上七點到早上十點 消耗瓦數 (W)	69.443	43.081
早上十點到下午兩點 平均供給電壓 (V)	24.2	23.35
早上十點到下午兩點 平均消耗電流 (A)	2.34	1.845
早上十點到下午兩點 消耗瓦數 (W)	56.628	43.081
下午兩點到下午五點 平均供給電壓 (V)	24.2	23.35
下午兩點到下午五點 平均消耗電流 (A)	0.9575	1.845
下午兩點到下午五點 消耗瓦數 (W)	23.172	43.081

使用最大功率點為 230W、轉換效率為 14.16%和重量約 20 公斤規格的固定式晶矽太陽能板，每日轉換的電量平均大約為 0.472 度電 [33]。在此假設，若本機構承載約 20 公斤重的太陽能板，由早上七點運作至下午五點，經程式設計後，每次追蹤太陽的動作約在 15 秒內完成，則每日馬達平均運轉時數約 0.0833 個小時。其每日消耗的電量，可經由表 4-14 的數據大概估算得到，馬達每日分別消耗約 0.0042 和 0.0027 度電。若系統在未來整合與上述同規格的太陽能板於承載平台

上，白天全程的追蹤之下，由於前述參考文獻指出，太陽追蹤系統的轉換效率約比固定式高 37%，再經由表 4-14 的數據計算，兩顆馬達所消耗的電量約佔轉換得到電量的 1.07%。根據上述，追蹤系統在轉換得到的電量扣除馬達所消耗的電量，實際獲得的電量大於固定式系統所獲得的電量。在經過耗電量估算後，證明了追蹤式系統的確能夠提升發電效率。



## 第五章 結論與未來研究方向

### 5.1 結論

本論文成功開發一個雙軸太陽追蹤器。在主要目標太陽能再生能源這方面，希望能夠增加發電量並節省耗電量，來提升發電效率。經馬達耗電量的估算後，能知道系統的馬達，若每日運轉一小時，總日耗電量僅 0.0069 度電，對中型太陽能板一日所能產生的發電量耗損不到 2%。就整體電的轉換和消耗比例上，優於傳統固定式系統。另外，控制雙軸馬達運轉的直流伺服控制介面卡，是自行開發的介面卡。本介面卡是以 PIC 微控制器作為核心，來設計驅動馬達，比起一般市售的伺服驅動器，在成本上節省了許多。最後追蹤器利用三種不同的光源，做追蹤性能的實驗驗證。在實驗數據、照片或影片上，都顯示出不論系統在室內或室外，皆可準確的追蹤到光源位置。經實驗驗證後，說明了此理論是可行且追蹤的準確度並不會太差。在追蹤太陽的程式撰寫方面，包含了雲層通過偵測與節能停止動作的程式，對所消耗的能源能有效的減少，不需要時時刻刻不斷的對太陽位置做偵測，以減少馬達轉動所消耗的功率，來提升整體的發電效率，達本論文最終目的。

### 5.2 未來研究方向

在本論文的研究中，是以電控系統為核心，配合 MPLAB 軟體撰寫程式，應用在追蹤太陽的目標上，建立一個兩軸的追蹤系統，但系統在許多的細節上仍需要改善與提升功能，使系統趨於完善。其敘述如下：



- (1) 在機構保護方面：對於垂直旋轉座的轉動極限，尚未裝設轉動極限的保護裝置。若有強光從機構任何一側出現，其位置已超出垂直旋轉座的轉動極限，則垂直旋轉座極有可能會因感測器追蹤光源，轉動超出極限而造成機構上的損壞或損毀。故未來還須加裝極限保護裝置較為妥當。
- (2) 在機構保護方面：對於裝置防水的設計，需要改善的有馬達和感測器。在馬達方面，主要是在線圈外殼的部分。在線圈外殼上有少許長條形的孔洞，由於本系統的兩顆直流馬達，皆裝設在機構外部，若在執行追蹤功能，馬達運轉同時有水跑進去，那馬達便會直接燒毀。另外，在感測器方面，主要是在感測器機構主體的部分。在感測器機構主體周圍亦有少許的孔洞，由於感測器是必須對外光源感測的機構，故裝設在外部。但感測器機構主體的內部有光感測電路，若在執行追蹤功能同時有水跑進去，那電路便會燒毀。故未來在這兩個裝置上，做更換或加裝防水設施，都會是很好的選擇。
- (3) 在感測器機構方面：前述的實驗中，在室內兩種光源的追蹤測試，其結果顯示皆能很準確的追蹤到光源的位置。至於太陽光，感測器未能很準確的追蹤，經由幾次實驗後，發現未能準確追蹤的因素是：1. 照度隔絕效果不良。2. 當陽光照射到感測器上方半圓形的蓋子時，會有光線反射至另一邊的光敏電阻。由於上述的兩種因素，故在加強照度隔絕效果方面的隔板選擇上，材質必須是不透光；另外在感測器上方半圓形的蓋子，必須重新選擇透光效果好和反光效果低的材質來製作蓋子，以達更精確的追蹤。

- (4) 在系統操作方面：本論文尚未加入人機介面。目前對系統一切的操作，都必須到現場才能執行，而且對於參數必須要實際量測才能獲得。整體而言，現階段系統操作是相當不方便的。若系統加入人機介面，不但建立一種人與機器能簡易溝通的介面，還可以增設許多的功能，例如：參數的調整、遠端操作、儲存資料和顯示即時的數值…等許多功能。這樣系統不但功能多、操作方便而且還具人性化的特性。整體而言，系統的操作是更趨於完善的。
- (5) 在太陽能板的裝設方面：本論文目前僅完成追蹤機構的設計及控制，尚未整合太陽能板於承載平台。在接續的研究工作中，將整合太陽能發電系統於追蹤器上，以進行發電效率的評估及測試。並進一步針對追蹤的程式作改進，提昇追蹤平台的穩定性，以確保發電系統的效率。
- (6) 電瓶充放電技術整合：本論文目前提供機構電源的部分，是使用市電經交換式電源供應器，對機構進行電源的供給。由於電源連接市電會有地點上的限制，故若將本機構改良成為獨立型太陽能供電系統，則就不會受到地點上的限制，可以將機構擺設在任何地點。其中獨立型系統是指太陽能發電系統獨立供給負載，並不與市電有任何連結，如圖 5-1 所示 [34]。其設備容量通常在數十至數百瓦左右，利用太陽能板在白天產生電力，並對蓄電池組充電，而在夜晚由蓄電池組經電力轉換器提供電源給負載。獨立型太陽能系統，其主要的電路包括了數位信號處理器、太陽光電池、昇壓型直流/直流轉換器、雙向升降壓脈衝充放電轉換器、全橋式換流器、電壓電流回授電路、各式緩衝電路及驅動電路，如圖 5-2 所示 [34]。

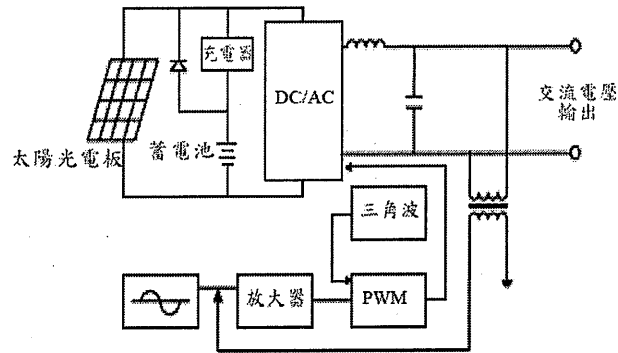


圖 5-1 獨立型太陽能供電系統示意圖[34]

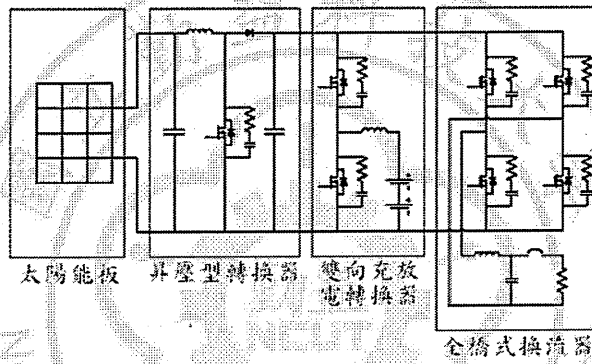


圖 5-2 獨立型太陽能供電系統架構圖[34]

## 參考文獻

- [1] 卜一，張帆，李秀娥，*歷史月刊* 248 期，2008。
- [2] 林正義，廖肇聰，姚俊全，余金源，蕭海南，蘇少沖，「核能發電在台灣」專題系列 *核能百科*，1995。
- [3] *二十一世紀 雙月刊*，2005。
- [4] <http://www.chinareviewnews.com/doc/1011/1/5/2/101115221.html?coluid=7&kindid=0&docid=101115221&mdate=1026100122>.
- [5] H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, and A. Sharifi, "A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1800–1818, 2009.
- [6] <http://blog.udn.com/r061489061489061/2195420>.
- [7] Zomeworks Corporation, Passive solar TRACK RACK, Albuquerque, NM, US Pat. No. 4275712.
- [8] P. Roth, A. Georgiev, and H. Boudinov, "Cheap two axis sun following device," *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 1179–1192, 2005.
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pyrheliometer>.
- [10] Ai B, Shen H, Ban Q, Ji B, and Liao X, "Calculation of the hourly and daily radiation incident on three step tracking planes," *Energy Conversion and Management*, vol. 44, pp. 1999–2011, 2003.
- [11] E. Lorenzo, M. Perez, A. Ezpeleta, and J. Acedo, "Design of tracking

photovoltaic systems with a single vertical axis,” *Progress in PV Research and Applications*, vol. 10, pp. 533–543, 2002.

[12] I. SMA, “The forced circulation performance of a sun tracking parabolic concentrator collector,” *WFEC*, pp. 568–571 1996.  
<http://cat.inist.fr/>.

[13] J. M. Quero, C. Aracil, L. G. Franquelo, J. Ricart, P. R. Ortega, M. Dominguez, L. M. Castañer, and R. Osuna, “Tracking control system using an incident radiation angle microsensor,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 2, pp. 1207–1216, Apr. 2007.

[14] 葉益男，集光式太陽能發電追蹤控制系統研製，國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文，2001。

[15] 經濟部能源局高效率馬達推廣計畫；馬達減速機性能檢測實務技術研習班。

[16] [http://club.china.alibaba.com/forum/thread/view/6\\_23592161\\_.html](http://club.china.alibaba.com/forum/thread/view/6_23592161_.html).

[17] <http://zhidao.baidu.com/question/158670725.html?fr=qrl&cid=84&index=2>.

[18] <http://longgoung.com.tw/>.

[19] 洪芳州，電動機技術應用百科，1996。

[20] 葉明財，小型馬達活用技術，1995。

[21] 陳瑞和，感測器，全華科技圖書股份有限公司，1991。

[22] 光感測器與控制實驗系統 G13/EV，卓傑企業有限公司。

[23] 陳福春，感測與轉換器，高立圖書有限公司，2004。

- [24] <http://www.tokenonline.net/big5/index.html>.
- [25] 蘇宏哲，*嵌入式直流伺服電控系統設計及其於阻抗匹配器之應用*，勤益科技大學電機工程系碩士論文，98年7月。
- [26] 劉偉建，*仿人形機械手臂設計及控制之研究*，勤益科技大學電機工程系碩士論文，99年7月。
- [27] Microchip, Datasheet of PIC8720 Data Sheet, 2004.
- [28] <http://61ic.com/Technology/embed/200703/12599.html>.
- [29] SGS-THOMSON, "L6201/L6201P/L6202-L6203 Data Sheet", 1995.
- [30] 陳瑞和，*感測與轉換器補充教材*，2007。
- [31] <http://www.shayye.com.tw/index-c.html>.
- [32] 許招墉，*物理光學*，俊傑書局股份有限公司，2002。
- [33] <http://www.dost.com.tw/index.asp>.
- [34] 黃柏翔，劉怡成，*太陽能發電系統*，明志科技大學，2009。

## 作者簡介

姓名：陳威佐 (Wei-Zuo Chen)

出生日期：民國七十年七月三十日

籍貫：彰化市

學歷：

國立勤益科技大學	電機工程研究所	(97.9 ~ 100.1)
私立南台科技大學	電機工程系	(92.9 ~ 94.6)
國立聯合技術學院	電機工程科	(89.9 ~ 92.1)
國立台中高工	控制科	(86.9 ~ 89.6)

著作論文：

- [1] 洪清寶、陳威佐、劉偉建、許顏忠，“Sun Tracker System Design with PIC-based Embedded Electrical Control System”，中華民國第三十一屆電力工程研討會，2010。
- [2] 洪清寶、陳威佐、劉偉建、許顏忠，“雙軸太陽追蹤器之設計及控制”，第九屆台灣電力電子研討會暨展覽會，2010。