高壓冷媒介質氣壓缸之磨潤參數鑑別

Identification of Tribological Parameters of Pneumatic Cylinder with High Pressure Freon

牟錫鴻楊博松蔡習訓Hsi-Hung MouBo-Song YangHsi-Hsun Tsai

摘要

近來來全球致力於開發替代性能源,其中太陽能之應用最為重要。目前太陽能電池多有搭配一追蹤系統, 以達更高之發電效率。而本論文以一被動式追日系統為基礎,係以低沸點及低蒸發潛熱之冷媒充填於二 儲壓罐,運用元件設計使氣瓶接收太陽光照度之不平衡,驅動氣壓缸並推動太陽能電池轉動面對太陽。 然摩擦效應對於氣壓缸影響甚大,而本論文利用盧格利模型(LuGre Model)為基礎,提出一技術,以利太陽 能追日系統磨潤參數之鑑別。本論文係對追日系統之氣壓缸進行運動狀態分析,氣壓缸運動時,兩氣室 壓力變化與位移有絕對關係,故利用電子式壓力計與電阻尺取得相關數據,並裡用 MS Excel、Matlab 軟 體加以整理、分析,即可鑑別出 LuGre Model 六個參數。根據結果顯示,於常溫下,可得穩態摩擦力四個 參數分別為庫倫摩擦力 $F_c=16.44$ N、最大靜摩擦力 $F_s=28.16$ N、Stribeck velocity $v_s=11.38$ mm/s、黏滯摩 擦力係數 $\sigma_2=0.1615$ N·s/mm;而模擬於氣壓缸滯滑效應之下,可得動態摩擦力參數為 $\sigma_0=0.65\sim0.79$ N/mm。若進一步探討兩氣室之壓力和與參數之關係,可得知當壓力和增加時, F_c 呈現線性 遞減,對 F_s 影響不大, v_s 、 σ_2 、 σ_0 之值則會增加。

關鍵詞:氣壓缸、追日系統、摩潤參數、LuGre 模型

ABSTRACT

The issues of fuel wastes and nuclear power are getting more visible nowadays. This makes the renewable energy becomes the focus of the innovation no matter in the industries or in the academies. The photoelectric transformation efficiency would be enhanced by cooperation to the solar tracker. The passive tracer socks the sunlight up by two bottles of Freon which contain solar lower boiling temperature and latent heat. Through the imbalance of the sunlight illumination changes the pressure in these two Freon bottles. It drives the motion of Pneumatic Cylinder and makes the slide crank mechanism switch its trajectory between linearity and rotation. based on LuGre module and focuses on stick-slip effect generated by the motion of Pneumatic Cylinder in the solar tracker. Thereon, gather the Tribology Parameters from the Pneumatic Cylinder by using pressure sensor, shifting sensor and the data recorder and further analyzing through MS Excel \cdot Matlab to identify the Tribology Parameters of the Pneumatic Cylinder from LuGre module. As result, the dynamic Friction is related to the air chambers of the pneumatic cylinder and the temperature of Freon. Under normal temperature, the tribologic parameters of the pneumatic cylinder are $F_c = 16.44 \text{ N} \cdot \frac{F_s}{r} = 28.16 \text{ N} \cdot \frac{v_s}{r} = 11.38 \text{ mm/s} \cdot \frac{\sigma_2}{r} = 0.1615 \text{ N} \cdot \text{s/mm}$.

Keywords : pneumatic cylinder, solar tracker, tribologic parameter, LuGre model

一、前言

由於近十幾年來燃料的損耗以及為了減少破 壞地球環境的溫室效應,近年來有許多替代性能 源不斷的被發掘及研究,其中以太陽能電池(Solar Cell)的應用最被看好,太陽能電池接受太陽光照 射致使 P-N 半導體產生光伏效應,因此太陽能電 池發電效率在於接受太陽光的照度強弱。每當太 陽運行角度因地球自轉而有所不同時,光線與太 陽能電池形成一入射角,若入射角越大,相對的 太陽能電池吸收到的光線強度越小,則無法太陽 能電池有好的發電效率。為了使太陽能電池法線 與太陽光重合,擁有追日系統的太陽能電池已成 為發展主流。

太陽能追日系統分為單軸式與雙軸式,分別 以單軸或雙軸驅動對準太陽,就過去研究可知搭 配追日系統之太陽能電池之發電效率,分別高於 固定式裝設之太陽能發電系統 22.3% 及 25.2% [1]。就驅動方式可以區分為主動式及被動式追日 系統,主動式追日系統係以感測器、致動器及控 制器形成控制迴路,供應系統電能使太陽能追日 系統得以對準太陽,而被動式追日系統則不消耗 電能的方式,以感測器及致動器,搭配機械計算 機構,使太陽能追日系統對準太陽。

被動式追日系統有以雙金屬架構、冷媒熱漲 冷縮流動傾斜架構、或以光熱感測之高壓冷媒驅 動架構。徐偉舜[4]以低沸點及低蒸發潛熱之冷媒 充填於二儲壓罐,儲壓罐置於太陽能電池二端, 運用兩儲壓罐接收太陽光之受熱面積不同,而產 生壓力差,進而驅動氣壓缸直線運動,並推動太 陽能電池轉動面對太陽(如圖 1),此單軸式太陽能 電池追日系統為被動控制驅動方式運作,不需要 額外電力驅動馬達,達到無電力消耗之目標,其 發電功率高於固定式太陽能電池 19%。

徐偉舜[4]之被動式太陽能追日系統的致動器 為氣壓缸,而氣體為可壓縮之介質,氣壓缸推桿 之橡膠 O 型環與缸壁間之摩擦效應,促使氣壓缸 作動時有滯滑效應(Stick-slip effect)。氣壓缸之滯 滑效應涉及氣壓定位及定速控制之精確度,對於 太陽能追日系統而言,台大黃秉鈞教授[8]認為單 軸追日系統若致動器作動次數增加,即使太陽能 電池得以對準太陽而增加發電功率,但頻繁作動 亦將消耗電能,其認為太陽能電池在一天之內偏 轉三種角度可以使整體發電輸出功率達至一定效 益,而三種偏轉角度分別為+/-25°及水平 0°。若 此,上述提及之被動式太陽能追日系統的氣壓缸 雖有滯滑效應,然其所產生之偏轉角度應遠高於 +/-25°及水平 0°等三種角度,對於太陽能電池之 發電功率有其正面幫助。

兩接觸物體具有法向力時,欲擁有相對運動 前及發生相對運動時,即有摩擦力產生,分別為 靜摩擦與動摩擦,傳統動力學的認知是靜摩擦力 與動摩擦力是瞬間轉移,然摩擦力特性之研究 中,LuGre 摩擦力模型較能真實描述動摩擦力隨 相對速度提高時之降低現象(stribeck effect)[2]。相 關學者針對最高容許壓力為 10kg/cm2 之氣壓缸, 且以空氣為介質,而氣體工作壓力在 7 kg/cm2 以 下,此類氣壓缸之滯滑效應研究已有所成。

就本研究之被動式太陽能追日系統中,係以 液汽相混合之冷媒作為介質,冷媒工作壓力常達 12 (kg/cm2),且本研究使用高壓力氣壓缸,高壓 冷媒對於高壓力氣壓缸 O 型環(O-rings)之壓迫, 且 O 型環與缸壁間相對運動的磨潤特性未明,高 壓氣壓缸運用於太陽能追日系統時,其 O 型環與 缸壁間磨潤特性之鑑別,有助於瞭解並進行設計 變更此一被動式太陽能追日系統之系統動態特 性。本論文因而將以 LuGre 摩擦力理論模式為基 礎,藉由相關設置及實驗,獲得動態及動態實驗 之數據,再以 LuGre 摩擦力方程式進行求解,可 鑑別出不同冷媒壓力及不同相對運動速度之氣壓 缸磨潤參數,並以此磨潤參數理論值所得系統動 態與實驗值比較,獲得結論並提出建議,可作為 被動式太陽能追日系統效能增進之參考。



圖1被動式追日系統

二、LuGre 摩擦力模型

Canudas-de-Wit 等人於 1995 年共同提出 LuGre 摩擦力模型[2],其模型是建立在 Dahl 模型 的基礎上,捕捉了 Stribeck 效應,而後作者於 2008 年將模型稍做修改[3],成為被廣泛運用的 LuGre 摩擦力方程式。此理論方程式模型將兩物體摩擦 的接觸面,假設為微觀之下具有隨機行為的彈性 刺毛(bristle),摩擦力由刺毛的撓曲產生,刺毛撓 曲變化率與刺毛剛性、兩接觸面之相對速度相 關,其方程式為

$$\dot{z} = v - \frac{\sigma_0 |v|}{g(v)} z \qquad (1)$$

其中狀態變量 z 為刺毛的平均變形量 , σ_0 為刺毛 剛性(stiffness) , v 為兩接觸表面間的相對速度 , 而 g(v)則用來描述 Stribeck effect , g(v)定義為

$$g(v) = F_C + (F_S - F_C) e^{-(\frac{v}{v_s})^2}$$
 (2)

 F_c 為庫倫摩擦力, F_s 為最大靜摩擦力, v_s 為 Stribeck velocity。

$$F = \sigma_0 z + \sigma_1 \dot{z} + \sigma_2 v \tag{3}$$

其中 σ_0 為刺毛剛性(stiffness), σ_1 為刺毛微阻尼係 數(micro-damping), σ_2 為黏滯摩擦力係數。若藉 由適當控制使氣壓缸致動桿處於不同的等速度運 動之伸縮狀態下,可知 dz/dt=0,而由 Eq(1)可得 $z=g(v)sgn(v)/\sigma_0$,其中 v>=0則 sgn(v)=1,若 v<0 則 sgn(v)=-1。代入 Eq(3)可得到等速度運動之穩態 的動態摩擦力為

$$F_{SS}(v) = g(v)\operatorname{sgn}(v) + \sigma_2 v \qquad (4)$$

LuGre 摩擦力模型方程式共有 6 個參數,包括 F_c 、 F_s 、 v_s 、 σ_0 、 σ_1 及 σ_2 ,其中靜態磨潤參數 F_c 、 F_s 、 v_s 、 σ_2 之可經過等速度運動下的摩擦力與速度關係鑑別獲得。而動態磨潤參數 σ_0 、 σ_1 為兩接觸面間之刺毛連結尚未破斷(break away)時的阻尼現象,當表面於微米或奈米的速度運動時, σ_0 就是相當關鍵的參數。因 σ_0 與 σ_1 具有一定理論關係,可以試誤法調整 σ_0 ,再以 Matlab 模擬系統響應,調整 σ_0 值使系統響應貼近實驗值,以獲得動態摩潤參數 σ_0 之值。

三、實驗設置

本研究以圖 1 之被動式太陽能追日系統為標 的,圖中伸縮桿件為單軸雙動式氣壓缸(如圖 2 所 示),氣壓缸缸徑為 32mm,致動頂桿直徑為 20mm,氣壓缸行程為 500mm。氣壓缸之致動桿 與太陽能電池支架連結,藉由致動桿伸縮而致動 太陽能電池支架旋轉,為典型的直線運動轉變為 旋轉運動之連桿機構。氣壓缸兩端連結不同氣體 壓力之高壓冷媒儲壓罐,太陽光能對左右兩側儲 壓罐之不均勻照射,使得兩儲壓罐內部冷媒壓力 具有不同增幅,與兩儲壓罐連通的單軸雙動式氣 壓缸兩端,因儲壓罐冷媒受熱後壓力改變,使氣 壓缸有致動力輸出。

氣壓缸因兩端壓力變化而使氣壓頂桿伸縮, 本研究使用電阻尺作為氣壓頂桿伸縮長度之感 測,當氣壓頂桿伸縮時,電阻尺之電阻值改變, 進而改變輸出電壓,輸出電壓由資料擷取記錄器 (MRD-8002L)即時顯示並儲存,即可得知氣壓頂 桿之伸縮長度,此電阻尺之量測精度達 1µm。為 獲知儲壓罐冷媒壓力變化,本研究使用如圖 3 之 電子式壓力計,其壓力範圍最高達 20 kg/cm2,量 測精度達 0.01 kg/cm2,冷媒壓力變化時,電子式 壓力計產生不同的輸出電壓,電子式壓力計之輸 出訊號亦由資料擷取記錄器即時顯示並儲存。儲 壓罐與單軸雙動式氣壓缸連通,依安裝於冷媒儲 壓罐上之電子式壓力計壓力,則氣壓缸兩端氣室 壓力分別為^P, ^P, 而大氣壓力為 Patm,氣壓缸 活塞兩側的有效受力面積 A1、A2(此處 A1>A2), 氣壓缸致動桿面積為 Ar,亦即 A1=A2+Ar 因此氣 壓缸致動力為

$$F_{r} = P_{1}A_{1} - P_{2}A_{2} - P_{atm}A_{r}$$
(5)



圖 2 單軸雙動式氣壓缸



圖 3 電子式壓力計

四、結果與討論

4.1 靜態磨潤參數鑑別

LuGre 模型的靜態磨潤參數,可利用氣壓缸 於等速運動時之摩擦力與速度的關係曲線進行鑑 別。實驗過程中,兩氣室壓力及氣壓缸位移之數 據均利用資料擷取器所得到,數據擷取頻率為 2.5(Hz)。實驗之前氣壓缸兩端氣室之冷媒壓力分 別為 5.5 及 5.8 (kg/cm²),氣壓缸頂桿處於完全伸 出狀態,施加外力於氣壓缸頂桿上,使氣壓缸頂 桿伸出長度減少,同時氣壓缸兩端氣室之冷媒壓 力分別為 6.6 及 5.0 (kg/cm²),按 Eq(6)可知施於氣 壓缸致動頂桿之外力為 25.4(kg)。釋放氣壓缸頂桿 之施加外力,則氣壓頂桿將以一定加速度方式伸 出,歷經定速、減速到停止,此時記錄氣壓缸頂 桿長度及氣壓缸兩側氣室之冷媒壓力,彙整如圖 4。

圖中顯示在第一秒內,氣壓缸兩側氣室之冷媒壓 力變化劇烈,伴隨著氣壓缸頂桿伸出動態亦有加 速度存在,隨著氣壓缸頂桿逐漸伸出,氣壓缸兩 側氣室之冷媒壓力亦逐漸平緩,然而均可發現兩 側氣室之冷媒壓力均有 overshoot 現象,未釋放前 6.6 (kg/cm2)之氣室冷媒壓力先降至 5.4 (kg/cm2),經過 50 秒後才回升至 5.6 (kg/cm2)。而 另一側未釋放前 6.6 (kg/cm2)之氣室冷媒壓力先 降至 5.4 (kg/cm2),經過 50 秒後才回升至 5.6 (kg/cm2)。



圖 4 氣壓缸活塞運動之位移與壓力變化

在圖 4 中可以分析獲得幾段等速運動的動態,以 Ms Excel 取出此些等速動態的數據,施以迴歸分 析可得等速運動之速度值,如圖 5 所示為第 2.4~6.0秒間之氣壓缸致動桿伸出位置與時間的關 係,迴歸分析獲得此段運動之速度為 14.056 (mm/sec),而迴歸分析之 R²高達 0.98,顯示此段 時間內的運動速度為定值。同理可以從圖 6 中獲 得第 23.2~25.6秒間,氣壓缸致動桿運動之速度為 5.4286 (mm/sec),而迴歸分析之 R²為 0.9931,此 段時間內的運動速度為定值。因而從圖 4 中分別 就第 2.4~6.0 秒及第 23.2~25.6 秒等速運度期間, 獲得氣壓缸之冷煤氣室壓力 pressure 1(P1) 及 pressure 2 (P2),依 Eq(5)獲得穩態定速之氣壓缸致 動力,再由 Eq(4)之 Fss=Fr 獲得關係式。







圖 6 第 23.2~25.6 秒間氣壓缸致動桿伸出位置 與時間的關係

藉不同氣壓缸致動桿等速度運動之平均穩態致動 力,如圖 7 之速度與等速穩態的動態摩擦力實驗 數據,經由 Matlab 進行迴歸分析,可獲得下式

$$F_{SS}(\nu) = 16.44 + (28.16 - 16.44) e^{-(\frac{\nu}{11.38})^2} + 0.1615\nu$$
(6)

與 Eq(2)及 Eq(5)對應,可以氣壓缸穩態之動態摩 擦力的磨潤參數,即 $F_c = 16.44$ (N)、 $F_s = 28.16$ (N)、 $v_s = 11.38$ (mm/s)、 $\sigma_2 = 0.1615$ (N·s/mm)。 Eq(6)顯示氣壓缸頂桿速度在 20.08 (mm/s)時,穩 態摩擦力為 20.2 (N)。





4.2 動態摩潤參數鑑別

動態磨潤參數 σ_0 為 O 型環剛性, σ_1 為 O 型 環阻尼係數,O 型環與氣壓缸缸壁之接觸面為彈 性刺毛,摩擦力由刺毛的撓曲產生,動態磨潤參 數 σ_0 、 σ_1 為兩接觸面間之刺毛連結尚未破斷時的 剛性及阻尼,無法實際量測之刺毛撓曲為狀態變 數z,使得 σ_0 的計算產生困難。

而本研究以可程式定溫控制電熱器,針對被 動式太陽能追日系統之冷媒儲壓罐進行加熱,當 冷媒儲壓罐內部壓力逐漸升高時,氣壓缸之致動 桿隨之伸出產生位移。由圖 8 可知氣壓缸之致動 桿以極小之速度(<0.1mm/s)滑行一段時間後(stick effect),將產生一高速的運動(slip)。而氣壓缸在極 小速度狀態下之位移近似線性(如圖 9),則認定此 時物體尚未打破鍵結,位移僅是 O 型環變形造 成,即

$$\frac{dz}{dt} \approx \frac{dx}{dt} \tag{7}$$

此處 x 為氣壓缸致動桿之伸縮位移。



圖 8 兩儲壓瓶加熱之氣壓缸活塞位移與壓力變化



圖 9 氣壓缸致動桿滑行現象

由氣壓缸兩氣室之氣壓差所造成的致動力,使氣 壓缸致動桿產生加速度,根據 Eq(7)及二階彈簧阻 尼系統模式可得

$$P_{1}A_{1} - P_{2}A_{2} - P_{atm}A_{r} = m\ddot{x} + (\sigma_{1} + \sigma_{2})\dot{x} + \sigma_{0}x$$
(8)

式中m為系統質量。又因氣壓缸致動桿/活塞及缸 筒間之動態行為與二階彈簧阻尼系統模式一致, 則可得 σ_0 與 σ_1 之關係為[5]:

$$\sigma_1 + \sigma_2 = 2\zeta \sqrt{m \times \sigma_1} \tag{9}$$

式中^{ζ}為O型環之阻尼比,其值為0.9 [5]。此系統響應 Eq(8)因^{σ_0}與 $^{\sigma_1}$ 而改變,本研究以試誤法調整^{σ_0}動態磨潤參數,模擬系統之動態響應,從

而比較模擬值與實驗值,進而得到 σ_0 值,即同時 可 得 σ_1 之 值 。 如 圖 10(a)~(c) 可 知 σ_0 =0.75 (N/mm), σ_1 =0.380 (N s/mm)所模擬之系統動態響 應較為貼近實驗值,從而獲得動態磨潤參數值。



圖 10(a)σ₀=0.65, σ₁=0.354 系統模擬動態響應 與實際響應比較



圖 10(b) σ_0 =0.75, σ_1 =0.380 系統模擬動態響應

與實際響應比較





4.3 兩氣室壓力和對靜態磨潤參數之影響

因應被動式太陽能追日系統作動時,氣壓缸 兩氣室內之冷媒需受熱而逐漸增溫,以本研究建 構之方法求出四個靜態磨潤參數後,進一步探究 高壓冷媒之壓力變化,對於氣壓缸 O 型環之壓 迫,使 O 型環與氣壓缸缸壁磨潤特性的影響。故 先行將兩氣室冷媒加熱至穩定狀態後進行實驗, 以利觀察兩氣室壓力和對於四個靜態磨潤參數之 影響,其中壓力和為兩氣室內冷媒加熱至穩定狀 態時之壓力加總。

圖 11 可看出庫倫摩擦力 Fc 隨著氣壓缸兩氣 室之壓力和的增加而呈線性的遞減。顯示氣壓缸 兩氣室壓力和對 Fc 的影響是呈負相關,壓力和增 加將使 O 型環與氣壓缸缸壁之接觸更加貼切,亦 即 O 型環與氣壓缸缸壁的法向力增大,按理論推 估庫倫摩擦力 Fc 應增大,然而以冷媒為介質之氣 壓缸的磨潤特性與傳統空氣為介質之氣壓缸磨潤 特性完全相反。



圖 11 壓力和與 F_c 之關係

圖 12 顯示最大靜摩擦力^{Fs}與氣壓缸兩氣室壓力 和之關係為負相關,按理論推估最大靜摩擦力^{Fs} 應增大,然而以冷媒為介質之氣壓缸的磨潤特性 與傳統空氣為介質之氣壓缸磨潤特性相異。然就 迴歸分析所得之方程式可知,其因其斜率值為 -0.2494,數值不明顯,從可知氣壓缸兩氣室壓力 和對最大靜摩擦力影響甚小,且幾乎可視為常數。



圖 12 壓力和與Fs 之關係

圖 13 顯示,當壓力和越大時,Stribeck 速度 v_s 將相對變大。



圖 14 顯示,氣壓缸兩氣室壓力和與氣壓缸阻 尼成正相關,氣壓缸阻尼增加,對於系統動態有 所影響,亦即使系統相對穩定。



圖 14 壓力和與 σ_2 之關係

4.4 兩氣室壓力和對靜態磨潤參數之影響

若將氣壓缸進行刺毛運動時,兩氣室之平均壓力 和與⁶⁰進行比較(如圖 15),可得知⁶⁰隨著兩氣室 壓力和呈線性增加。



圖 15 壓力和與之 σ_0 關係

4.5 兩氣室壓力和對靜態磨潤參數之影響

Eq(9) 為 σ_0 與 σ_1 的關係,而 σ_1 為氣壓缸致動桿位 移前的阻尼特性,如果氣壓缸致動桿位動速度 (dx/dt)大,則 σ_1 的對系統動態的影響,幾乎可以 忽略,因為dz/dt。然而,如果氣壓缸致動桿位動 速度很小且幾近於0,則若將氣壓缸進行刺毛運動 時,兩氣室之平均壓力和與 σ_0 進行比較(如圖 15),可得知 σ_0 隨著兩氣室壓力和呈線性增加。

五、結論

本論文以一單軸被動式之太陽能電池追日系 統為研究對象,其係以低沸點及低蒸發潛熱之冷 媒充填於二儲壓罐,儲壓罐置於太陽能電池二 端,運用兩儲壓罐接收太陽光之受熱面積不同, 而產生壓力差,進而驅動氣壓缸直線運動,並推 動太陽能電池轉動面對太陽,然而氣體為可壓縮 之介質,氣壓缸推桿之橡膠O型環與缸壁間之摩 擦效應,促使氣壓缸作動時有滯滑效應(Stick-slip effect),滯滑效應涉及氣壓定位及定速控制之精確 度。而本論文利用此無法人為控制速度之氣壓 缸,以LuGre 摩擦力模型做為基礎,研究滯滑效 應。因為LuGre 摩擦力模型的磨潤參數很多,且 動態摩擦力模型之磨潤參數之鑑別相對困難,故 本論文提出一技術,方便求得LuGre 摩擦力模型 的正確磨潤參數。

在常溫之下,氣壓缸之動態摩擦力四個磨潤 參數分別為 $F_c = 16.44 \text{ N} \times F_s = 28.16 \text{ N} \times v_s =$ 11.38 mm/s、 $\sigma_2 = 0.1615 \text{ N} \cdot \text{s/mm} \circ 進一步將兩氣$ 室之冷媒加熱後,當壓力和由 11.53kg/cm²上升至 $12.85kg/cm²時,<math>F_c$ 值將線性遞減,由 16.44N 降 至 10.37N, F_s 值影響不大, v_s 值由 11.35mm/s 增 至 17.77mm/s, σ_2 值由 0.1615 N \cdot s/mm 增至 0.3027 N \cdot s/mm °

動態摩擦力之磨潤參數則利用氣壓缸產生滯 滑效應時之實驗數據,與數值模擬響應相互比 對,即可得到 $\sigma_0 < \sigma_1$ 之值,其值與兩氣室壓力和 比較,當壓力和從 14.253kg/cm² 上升至 14.724kg/cm², σ_0 值呈線性上升,值由 0.65N/mm 增至 0.79N/mm,其值將影響滯滑效應之時間長 短。

鑑別出LuGre Model 此六參數,更容易預測 氣壓缸運動之特性,有利於未來追日系統之氣壓 缸之設計,降低追日系統之誤差,達到更高之發 電效率;且氣壓缸廣泛運用於精密控制儀器,可 對摩擦力之效應進行補償,以達到更精準的控制 效果。

誌謝

本論文為國科會編號 NSC-101-2221-E-131-013 之 計畫,由於國科會的支持,使本計畫得以順利進 行,特此致上感謝之意。

明志學報 第44卷第一期

參考文獻

- F. J. Gomez-Gil, Xiaoting Wang and A. Barnett, "Energy production of photovoltaic systems: Fixed, tracking, and concentrating," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.16, 1, pp.306-313, (2012)
- C. Canudas-de-Wit, H. Olsson, K. J. Åström and P. Lischinsky, "A new model for control of systems with friction," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 40, 3, pp.419-425 (1995)
- K. J. Aström and C. Canudas-de-Wit, "Revisiting the LuGre friction model", Control Systems, IEEE, vol. 28, 6, pp.101-114 (2008)
- 徐偉舜,"熱壓力致動之被動式太陽能追跡 系統",明志科技大學 碩士論文(2009)
- W. S. Owen and E. A. Croft, "The Reduction of Srick-Slip Friction in Hydraulic Actuators," IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, vol. 8, 3 (2003)
- 黃琮昇、徐保羅, "整合 LuGre 摩擦力模型 設計應用於 3C 產業之高速微動控制器", 國立交通大學 碩士論文(2012)
- 7. 陶國良、劉昊、陳劍鋒, "基於 LuGre 模型 的氣缸摩擦力特性研究",蘭州理工大學學 報,vol. 36, no. 3 (2010)
- B.J. Huang and F.S. Sun, "Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector," Energy Conversion and Management, vol 48, 4, pp. 1273-1280 (2007)