

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高職組 機械科

佳作

090903

非齒輪式減速機之研究

學校名稱：國立嘉義高級工業職業學校

作者： 職二 曾冠綸 職二 鄭楷翰 職二 劉伯程	指導老師： 黃永國 高文雅
---	-----------------------------

關鍵詞：減速機、正弦曲線、立體凸輪

摘要

在高職機械科二年級專業課程機件原理中有討論齒輪減速機內容，以章節內容我們知道工程應用上減速機以齒輪式的設計使用最為廣泛，但除了齒輪外是否還有其它以機械方式來達成減速的可能。本專題將探討設計、製造非齒式且相同尺寸只需更動少數零件即可達到不同的減速比之減速機的可能性，藉由創意機構設計方法及流程，來設計非齒輪式的減速機。本裝置共有五個零件分別是支撐座、自轉子、立體凸輪基座、波形產生器、鋼珠相互配合，藉由波形產生器對鋼珠產生壓力而促使鋼珠延底座之特殊曲線而作圓周運動，達成減速的目的，此裝置速比可藉由調整底座鋼球數量達到不同的減速比，本專題經測試後可達到減速的功能及穩定的轉速輸出。

壹、研究動機

在機械科二年級機件原理的課程中，在第十一章有提到減速機的原理及應用，內容提到使用輪系(齒輪、皮帶輪或鏈輪)來達到增減轉速的效果，其中又以齒輪的設計為最多也最多樣化，減速機應用的層面廣泛，包括在機械的各種領域。減速機顧名思義就是把馬達輸出的高轉速降低，以提高扭矩，大部份的減速機皆使用齒輪製作，齒輪在製作零件時比較繁複，現有減速機以齒輪為主、非同軸性、小型輸出扭矩受限制(齒型變小)。另有齒輪式的行星太陽輪系：元件多、不易配合、減速比不為簡易整數比、設計條件還受限、尺寸精密製造不易。擺線減速機：雖體積小，但減速比不為簡易整數比。蝸桿蝸輪減速機：雖可達到較大之減速比且有逆轉之安全性，但傳動效率差、兩軸需在空間上為正交、且摩擦損失大。

二十一世紀的來臨隨著科技的快速更新，在未來說不定是個機器人的時代，現代的機器人不是越做越大，要不越做越小，對於機器人構造而言，因為機器人內部有許多桿件運動，桿件尺寸及重量都會影響其慣性和負荷能力，若使用結構緊湊的減速機將可降低慣性。在台灣發展研究院智能機器人研究所分析到在產業用機器人的整體成本結構當中，減速機所占整體成本的三分之一。因此，若能發展運用於產業用或服務型機器人之傳動平穩且轉速比穩定、裝置簡單、成本便宜的減速機，那麼未來的商機可是很廣大的。

所以我們找課後時間和老師討論，是否能設計及做出非齒輪式，簡單構造、同軸輸出、相同大小的零件可做出不同減速比之減速機之可能性。

貳、研究目的

本專題的研究目的在探討不使用齒輪而是否達到減速的機構裝置可能性，再設計一個非齒輪式減速機，並使用最少零件達到節能減碳、大減速比及同軸輸出，可提供機械設計的便利性之特性，在整個專題研究過程包含構想的討論、零件設計、零件加工製造、機構組裝測試等步驟，也可讓我們在過程中體會到一個機構的設計製造程序，增加學習的興趣。

參、文獻探討

減速機是一種動力傳達機構，利用齒輪的速度轉換器，將馬達的迴轉數減速到所要的迴轉數，並得到較大轉矩的機構。在目前用於傳遞動力與運動的機構中，減速機的應用範圍相當廣泛。幾乎在各式機械的傳動系統中都可以見到它的蹤跡，從交通工具的船舶、汽車、機車，建築用的重型機具，機械工業所用的加工機具及自動化生產設備，到日常生活中常見的家電，鐘錶等等…其應用從大動力的傳輸工作，到小負荷，精確的角度傳輸都可以見到減速機的應用，且在工業應用上，減速機具有減速及增加轉矩功能。因此廣泛應用在速度與扭矩的轉換設備。市上減速機種類繁多型號各異，不同種類有不同的用途，機械上常用的大可以分成兩大類，兩類之中包含數種不同型態且功能不同的減速機，為因應本主題而做下列各減速機的分析。

一、齒輪式【5】【2】

正齒輪減速機：利用小齒輪帶動從動大齒輪，造成速度遞減。但單段的減速比限制於 $1/5$ 以下。

蝸輪蝸桿減速機：具有極大的單段的減速比可由 $1/5$ 至 $1/100$ 、且有不逆轉之安全性，但因為蝸桿推動蝸輪之最大靜摩擦力較大且兩軸需在空間正交，故效率低於正齒輪減速機且佔較大之空間。

行星齒輪減速機：由正齒輪組合而成。結合 2 至 3 段減速齒輪組，小體積即可達到很大的減速比，但製作成本較高且減速比較難達到整數。

傘齒輪減速機：主要用在輸入和輸出軸呈 90 度的場合，但減速比較小。

二、機械式【6】【4】

皮帶輪減速：依據功能原理藉由皮帶兩邊不一樣的拉力產生一扭矩而對從動輪達到減速

的功能，但因皮帶有滑動的缺點，故速比不一定。

鍊條減速：傳動距離可較遠，且速比需正確，且可用在工作環境濕度大及高溫的情況下使用，但因弦線作用造成鏈輪傳動速率不穩定及產生振動和噪音。

圓柱減速：通用性強、可靠性高、熱交換性能好，承載力高，但因摩擦會產生速度損失，故有與皮帶輪速比不定之缺點。

擺線減速機：傳動比大，單級傳動比為 9~87，雙級傳運動比 99~7569，多級串聯時傳動比可以更大；傳動效率高，傳動效率均在 90%以上；結構緊湊：體積小、重量輕、高速軸和低速軸在同一軸線上，裝拆方便；擺線減速機運轉平穩噪音低，能夠受超載和衝擊。使用可靠且壽命長。

球體減速機：無背隙、定位精度高，且傳動速比可大可小。減速器中心部份採用滾珠取代齒輪而達到無背隙、極精準的反覆定位精度。優越的剛性表現：球體減速器是以結構上彼此銜接的軌道中運作，並非以滾珠摩擦傳導，因此不會發生打滑的現象。低軸向尺寸，節省空間：球體減速器使用軸向安裝，可減少體積空間。解決安裝空間不足的問題。滾珠接觸式傳動，運轉時只有滾珠轉動聲音，達到低噪音。密封式設計，採用特殊潤滑油，因此無須換油及補充、安裝方便。此外，球體減速器並無安裝方向的限制，安裝方便。

肆、研究過程與方法

一、研究設備及器材

研究設備及器材

(一)車床

(二)切削中心機

(三)CNC 車銑複合機

(四)鑽床

(五)刀具及量具

(六)軸承

(七)鋼珠

(八)馬達

(九)Solidwork 及 Mastercam 軟體

使用材料

項次	設備名稱	規格	備註
1	波形產生器	鋁，依尺寸加工	
2	自轉子	pom，依尺寸加工	
3	立體凸輪及基座	pom，依尺寸加工	
4	支撐座	鋁，依尺寸加工	

二、創意機構設計策略

分析各種減速機之設計原理後，我們參照「機械裝置的創意性設計」一書【1】所述之創意產機構設計之流程。我們選定之設計策略如圖 2 所示。分析各種減速機的減速原理，除了齒輪的定心輪系外，大致可分為公轉、自轉模式以及差動位移模式，公轉自轉模式要使用齒輪，因此本專題使用差動位移模式，差動位移模式的原理在於輸入軸及輸出軸在運動上有一個位移的差距，因此我們的構想如下：

一、在機件原理 13 章有提到，機件的運動位移曲線如果為正弦曲線，因為加速度較為平滑的關係，所以比較不容易產生振動【3】，如圖 1 而且可以在軸向產生一個週期性的波動，藉由波動來產生軸向位移，再由軸向位移產生旋轉的角度，這一個旋轉角度和輸入軸輸入的角度有一個差值，即完成差動位移模式的減速效果。

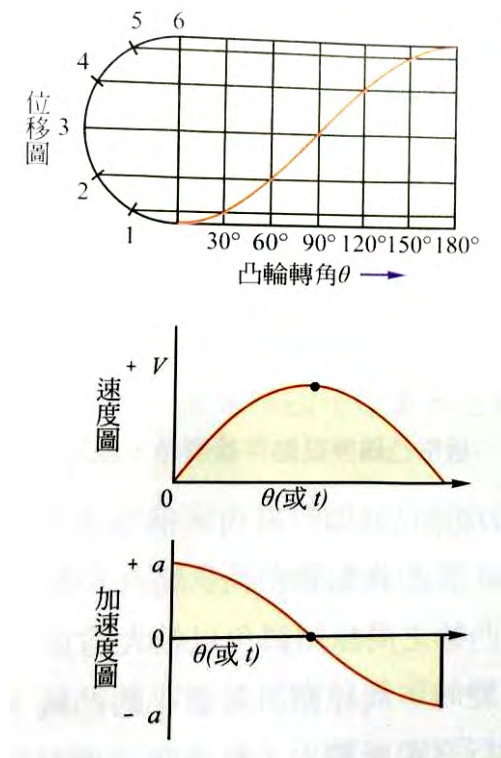


圖 1 正弦曲線之位移、速度、加速度【3】

二、輸入輸出若為差動位移模式，可以達到較大的減速比（輸入軸轉一圈，輸出軸轉一定的角度）。

使用以上兩個觀點，我們思考使用正弦曲線之波形產生器（端面凸輪形狀）加上一個由正弦曲線所形成的立體凸輪，這二個凸輪間在 360° 內藉由這二正弦曲線的頻率變化量配合一個自轉子產生差動位移。使用正弦曲線的原因是因為在機械元件的位移中，位移採用正弦曲線的位移方式，可使機件較不會產生震動【3】，而且正弦曲線可藉由正弦曲的頻率變化在產生差動位移、正弦曲線在 3D 繪圖軟體中，比較好繪製。因此，本專題所設定的零件有下列五個部份：

1. 波形產生器
2. 自轉子
3. 立體凸輪基座
4. 支撐座
5. 標準零件(固定螺釘、軸承、鋼珠)

除了標準零件外，其它零件由自己設計及加工製作。

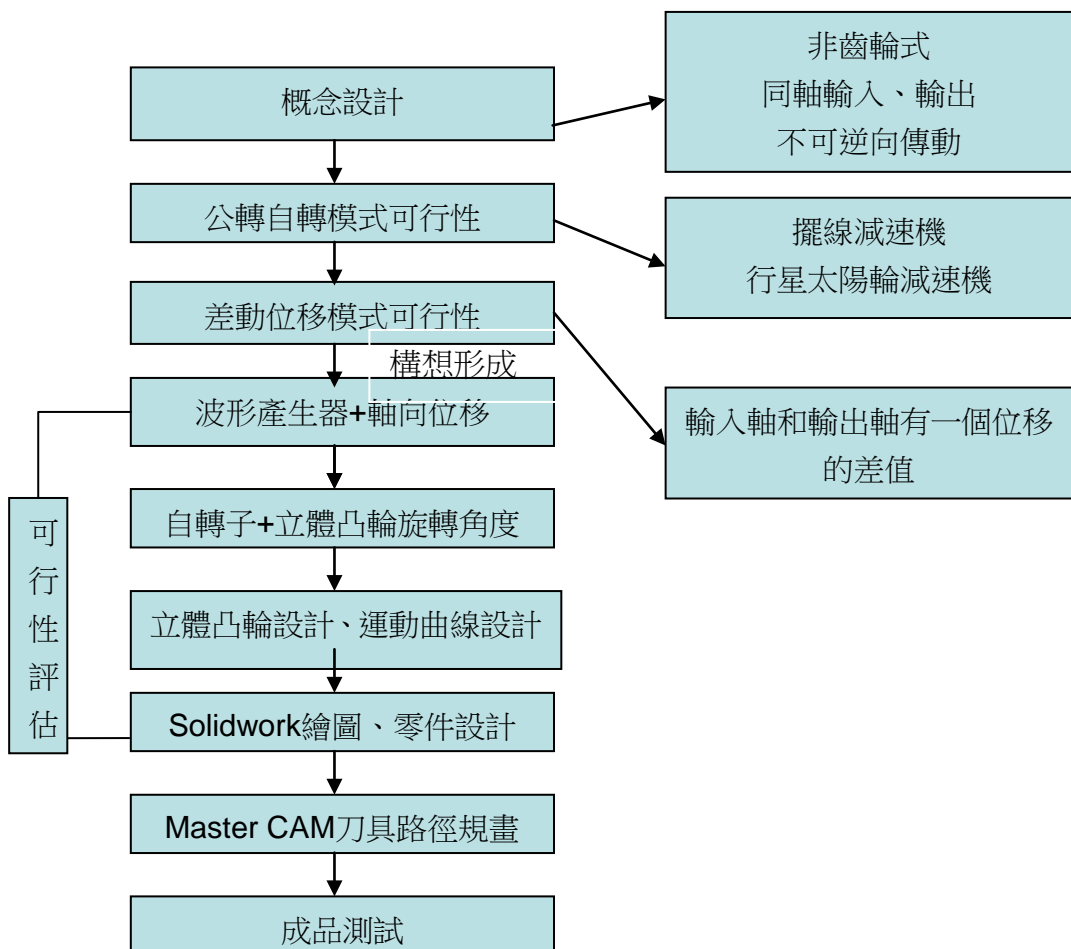


圖 2 非齒輪式減速機設計策略流程圖

三、零件細部設計

(一)波形產生器之端面曲線設計：

由上述的討論，在減速機的輸入端採用立體凸輪，其端面曲線由 Sin 曲線構成，當凸輪旋轉時在軸向產生一個正弦波動位移。正弦曲線的端面凸輪有加工上的限制，設備上須有車銑複合加工機、3D 繪圖軟體，本校的實習設備剛好都有可以應付加工端面凸輪所需。

初使設計 Sin 曲線在一個圓周上有二個週期變化，數學表示如下，Solidwork 可以輸入數學式而繪製出正弦曲線。

$$Z1=A \cdot \sin (2 \theta) \quad (1)$$

Z1:軸向位移

θ :輸入端旋轉角度

A:振幅 (鋼珠直徑)

我們使用 Solidworks 繪圖軟體設計及繪製波形產生器，如圖 3 所示，波形產生器為輸入軸端。

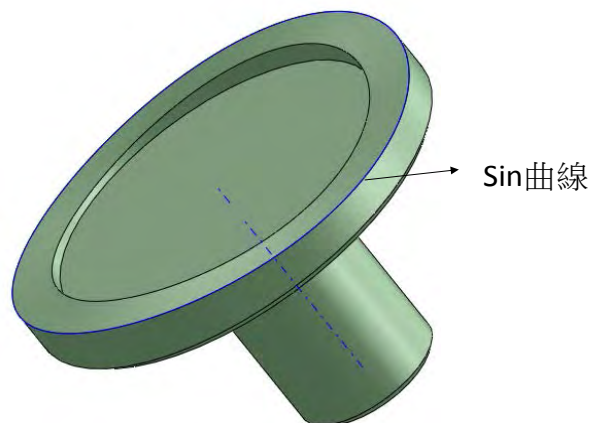


圖 3 波形產生器設計圖

(二)立體凸輪及基座

立體凸輪製作於基座上且屬於固定基件、3D 的曲面形狀可供鋼珠在上面滾動，因此曲面形狀為一球型本體掃過一正弦曲線的軌跡。本專題所初定出其減速比為 9 (輸入：輸出 = 9：1) 因此立體凸輪的曲線為圖 4 所示，基座上包含二個幾何特徵，一個為立體凸輪之曲面及提

供自轉子轉動的軸承座孔。立體凸輪之曲面可由一個球體特徵在 sin 曲線上掃出，即可繪製出這個特徵。

正弦曲線的軌跡之數學式：

$$Z2=A \cdot \text{Sin} (20 \times \theta) \quad (2)$$

Z2: 軸向位移

θ : 輸入端旋轉角度

A: 振幅 (鋼珠直徑)

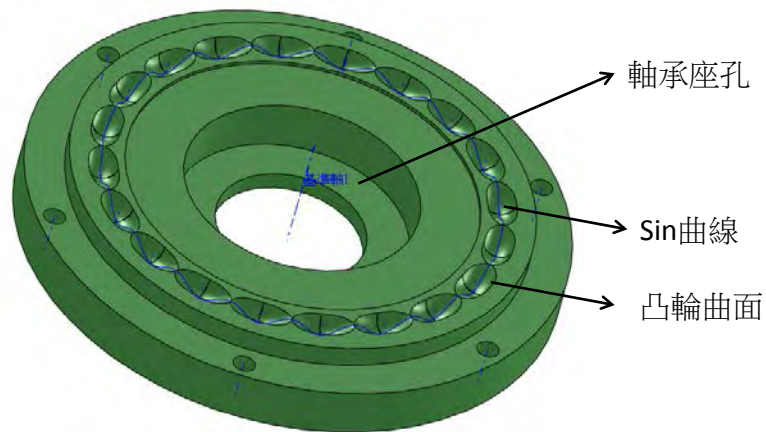


圖 4 立體凸輪曲面及基座

(三)自轉子及鋼珠

自轉子上有均分 18 孔，直徑為鋼珠尺寸。自轉子上的孔可供鋼珠上下滾動，當鋼珠受到波形產生器的波動位移時會上下滾動，在鋼珠上下滾動同時因受到立體凸輪的拘束而必須往前滾動，而往前滾動的力量即帶動自轉子產生運動，如圖 5 所示，當波形產生器往前移動 180° 的距離時，每個鋼珠會往前移動一個 3D 凸輪的週期，自轉子為輸出軸端。

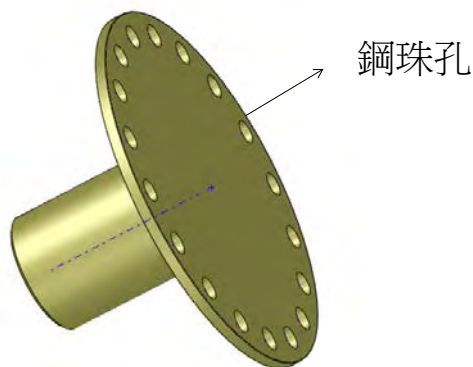


圖 5 自轉子及鋼珠孔

(四) 支撐座

支撐座為提供基座結合及波形產生器旋轉的支撐功能，如圖 6 所示，支撐座上有一個波形產生器旋轉軸承座孔及固定用的螺絲孔。圖 7 為本專題減速機四個零件的組合圖。

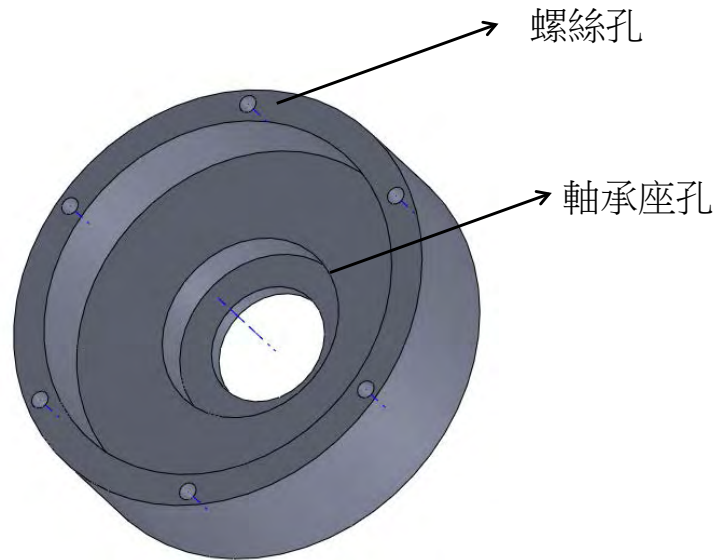


圖 6 支撐座

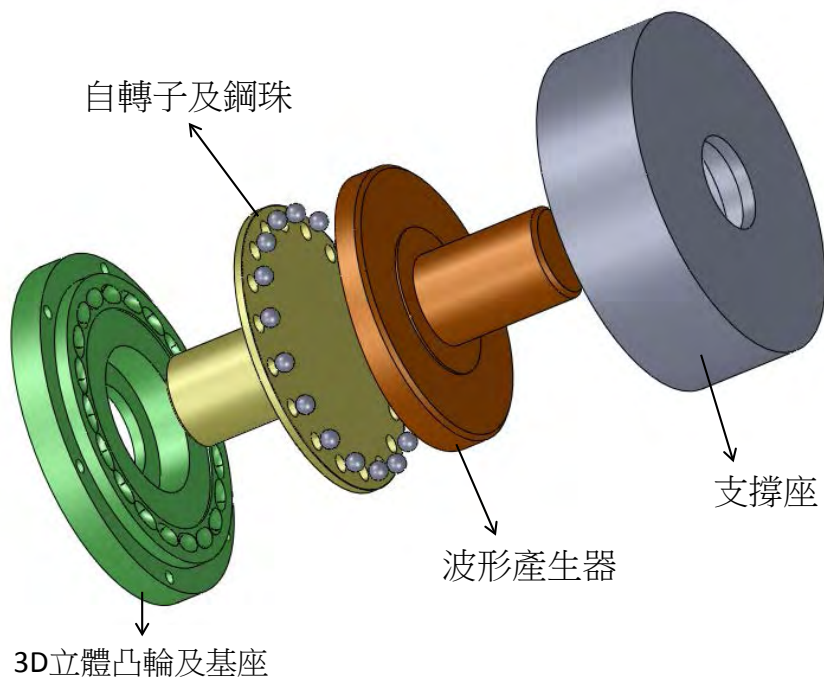


圖 7 減速機之組合圖

(五) 減速機傳動原理

在自轉子上鑽 18 個孔，放入 18 顆鋼珠，而基座的 3D 立體凸輪有 20 個週期變化的 sin 曲面，波形產生器上 sin 曲線為 2 個週期的變化，因此基座的 3D 立體凸輪週期變化為基座上 sin 曲面週期變化的 10 倍，如圖 8 所示，圖 8 為波形產生器旋轉 180 度的平面展開圖(波形產生器、鋼珠、立體凸輪的相對位置圖)，剛好為一個週期 sin 曲線的變化，所以當端面凸輪轉 180 度(半圈)時，鋼珠會因基座的 3Dsin 曲面及自轉子上孔的拘束而往前位移了 1 週期(9 號鋼珠位移到 8 號鋼珠的位置)，也就是 20 度，也就可以達到差動位移的效果。本專題目前的設計為 9:1 的減速比。

此機構有下列幾個優點：

※輸入軸可作正反轉運動，當輸出軸停止時，輸出軸也會停止轉動。

※相同的尺寸設計下只要變更不同的基座上 sin 曲面週期，及自轉上的鋼珠孔數，就可達到不同的減速比。

※只能由波形產生器帶動自轉子，不能由自轉子帶動波形產生器。

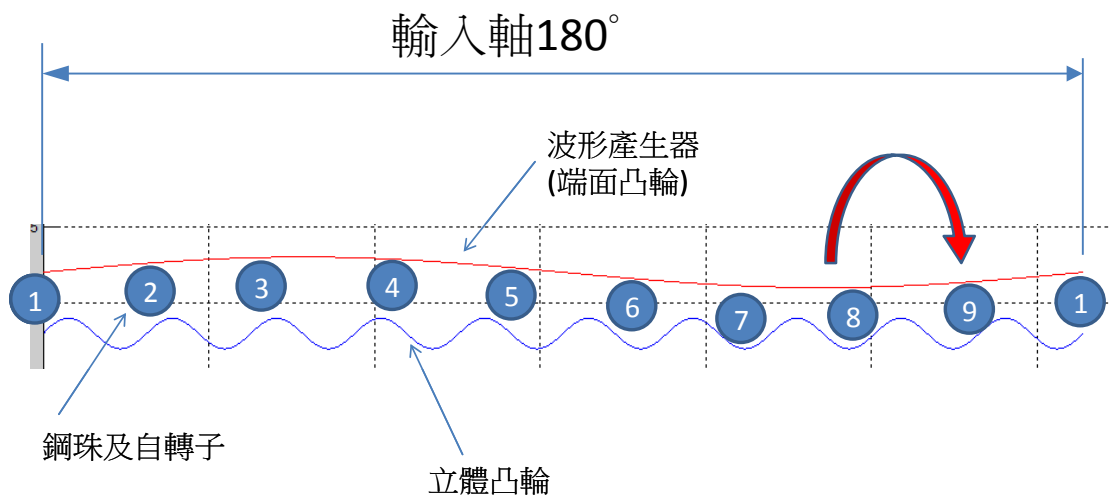


圖 8 減速機傳動原理

減速比的計算：

波形產生器上 sin 曲線的週期變化數=N1

基座上 sin 曲面週期變化數=N2

自轉子孔數=N3

設計條件 $N2-N3=N1$

減速比為 $N3/N1$

四、零件加工

(一) 立體凸輪及基座加工

利用 Mastercam 軟體將上述的 Solidworks 繪圖軟體所繪製的 3D 立體凸輪及基座進行刀具徑規劃及切削模擬，如圖 9 所示，

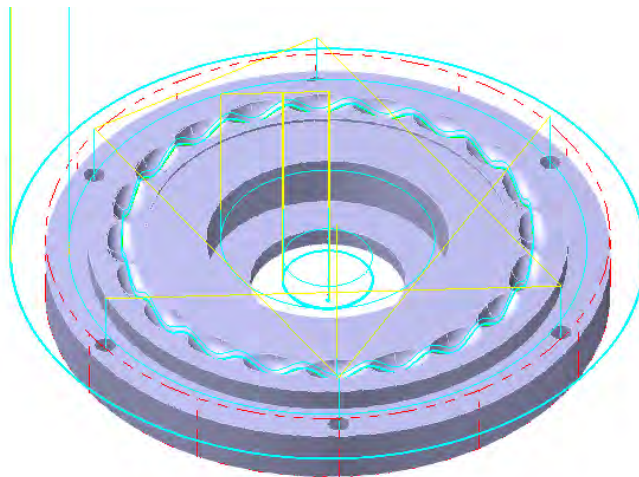


圖 9 立體凸輪及基座刀具徑規劃

將正確的刀具路徑規劃轉成 NC 碼後，放入切削中心機中進行加工，圖 10(a)為 CNC 銑床或切削中心機加工 3D 立體凸輪及基座的過程，本立體凸輪之 sin 曲面必須由 CNC 銑床搭配球刀(和鋼珠直徑相同)進行切削才可完成，圖 10(b)為完成圖。



圖 10(a) 切削中心機加工 3D 立體凸輪及基座



圖 10 完成圖(b)

(二) 波形產生器加工

波形產生器的加工必須使用車銑複合機進行端面上的 Sin 曲線，Mastercam 將 Solidwork 的模型讀取後進行刀具路徑規劃，再由 CNC 車銑複合機進行端面上的 Sin 曲線加工，CNC 車銑複合機在波形產生器曲線加工方面具有其它工具機無法取代之特性，圖 11 為波形產生器刀具徑規劃，圖 12 為波形產生器加工情形。圖 13 為波形產生器加工完成的實體零件。

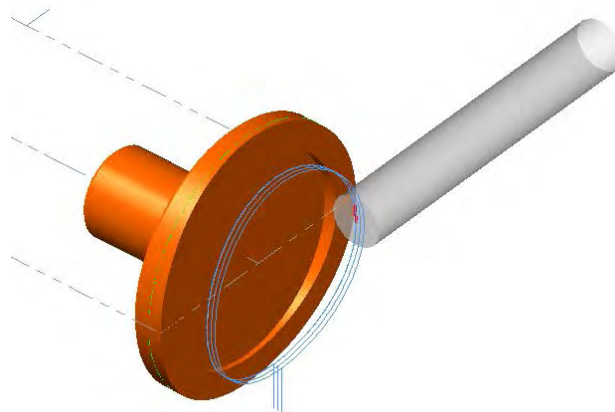


圖 11 波形產生器刀具徑規劃

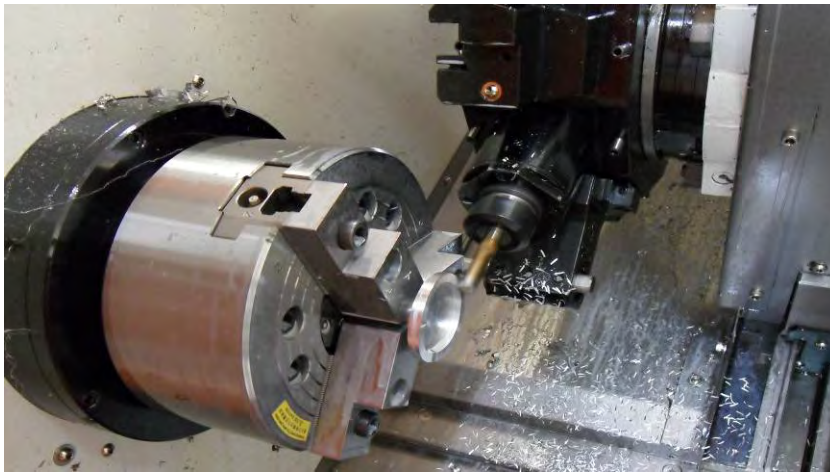


圖 12 CNC 車銑複合機在波形產生器曲線加工



圖 13 波形產生器完成圖

(三)機械元件組立

各零件加工完成後，如圖 14 所示，各個尺寸間皆能配合，並包含二個輸出入軸端。

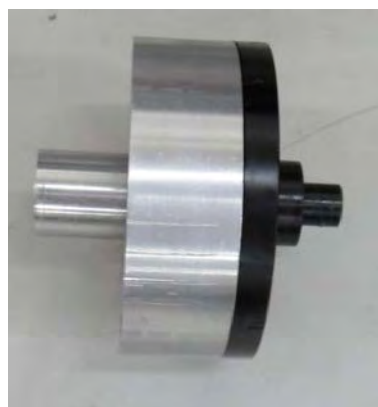


圖 14 減速機完成圖

伍、研究結果與討論

一、減速機功能測試

為了要了解本專題所設計減速機是否可以達到設計目的，我們組裝一個測試平台，平台包含馬達、皮帶輪、編碼器、示波器及電源供應器等，如圖 15 所示，測試減速機二個功能，第一為減速比測試，第二為輸出軸端之角速度是否穩定輸出測試。

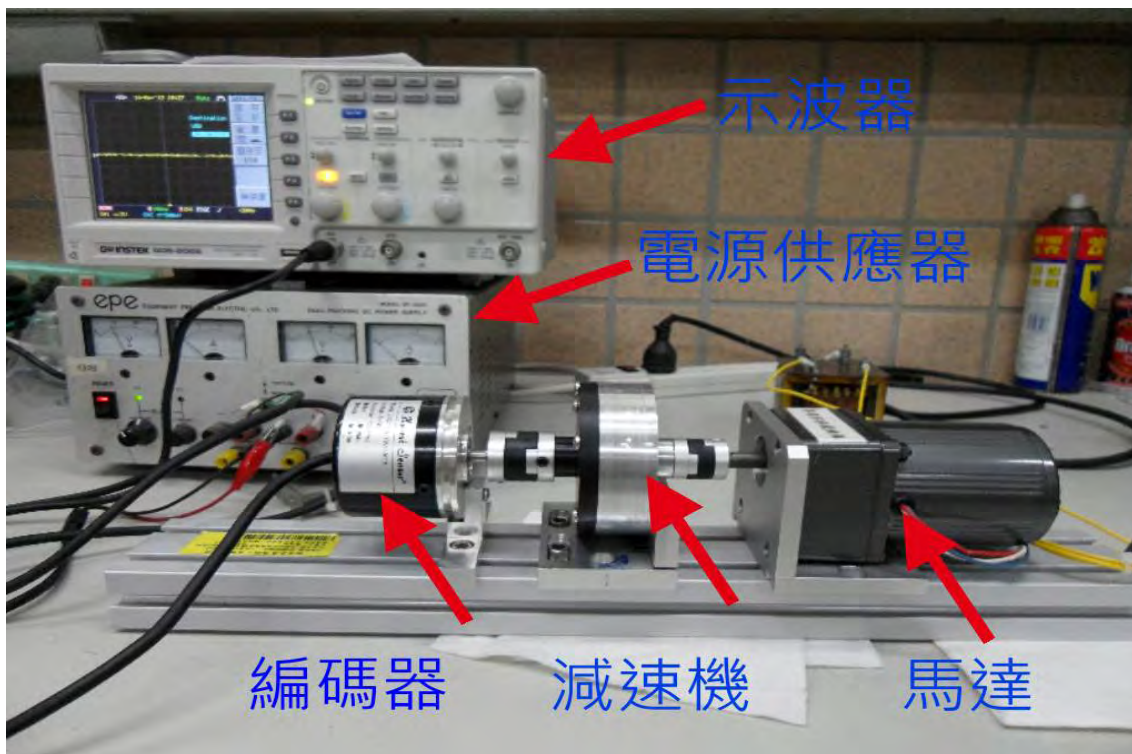


圖 15

(一)減速比測試

我們利用手動的方式進行減速比的測試，旋轉輸入軸端 90 圈，輸出軸端是否有旋轉 10 圈，初步觀察結果，有達到 9:1 的目標。

(二)角速度穩定輸出測試

我們使用光學編碼器連接於減速機的輸出軸端，啟動馬達後再用示波器擷取編碼器的訊號，如圖 16 所示，光學編碼器的解析度為 1200plus/轉，示波器擷取訊號的取樣為 0.0004 秒，因為示波器可以擷取 25000 點的資料，換算擷取訊號的時間長度為 1 秒。再扣除前面訊

號不穩定的時間，擷取的時間大約為 0.8 秒。把擷取的脈波個數換算為旋轉角度，再除以取樣的時間就是減速機的轉速輸出，我們用 EXCEL 軟體換算並畫成圖表如圖 17。轉速輸出結果如圖 18 所示，輸出軸的轉速穩定後，約為每秒 350°左右，圖中的角速度仍有週期性的變化產生，但幅度不大約 0.02%左右。

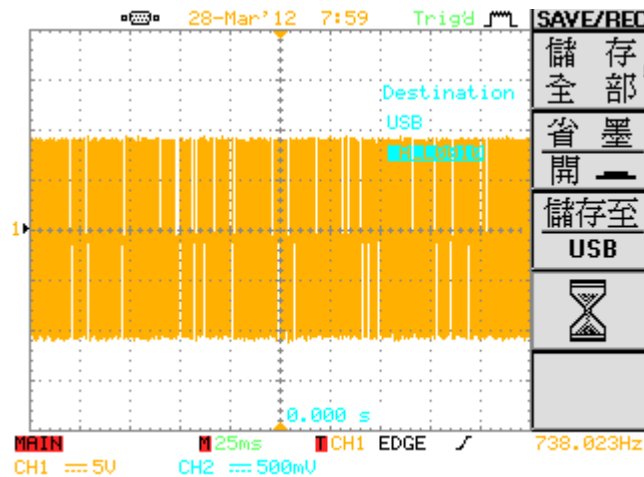


圖 16 示波器上的脈波訊號

	A	B	C	D	E	F	G
1	原始示波器訊號	脈波	累計脈波數	累計角度	累計時間	角速度	
2	50	0	593	177.9	0.5084	349.9213218	
3	51	0	593	177.9	0.50844	349.8937928	
4	52	0	593	177.9	0.50848	349.8662681	
5	50	0	593	177.9	0.50852	349.8387477	
6	50	0	593	177.9	0.50856	349.8112317	
7	51	0	593	177.9	0.5086	349.78372	
8	0	0	593	177.9	0.50864	349.7562126	
9	1	0	593	177.9	0.50868	349.7287096	
10	1	0	593	177.9	0.50872	349.7012109	
11	1	0	593	177.9	0.50876	349.6737165	
12	2	0	593	177.9	0.5088	349.6462264	
13	1	0	593	177.9	0.50884	349.6187407	
14	0	0	593	177.9	0.50888	349.5912592	
15	2	0	593	177.9	0.50892	349.5637821	
16	0	0	593	177.9	0.50896	349.5363093	
17	-1	0	593	177.9	0.509	349.5088409	
18	0	0	593	177.9	0.50904	349.4813767	
19	2	0	593	177.9	0.50908	349.4539169	
20	-1	0	593	177.9	0.50912	349.4264613	

圖 17 用 Excel 換算角速度

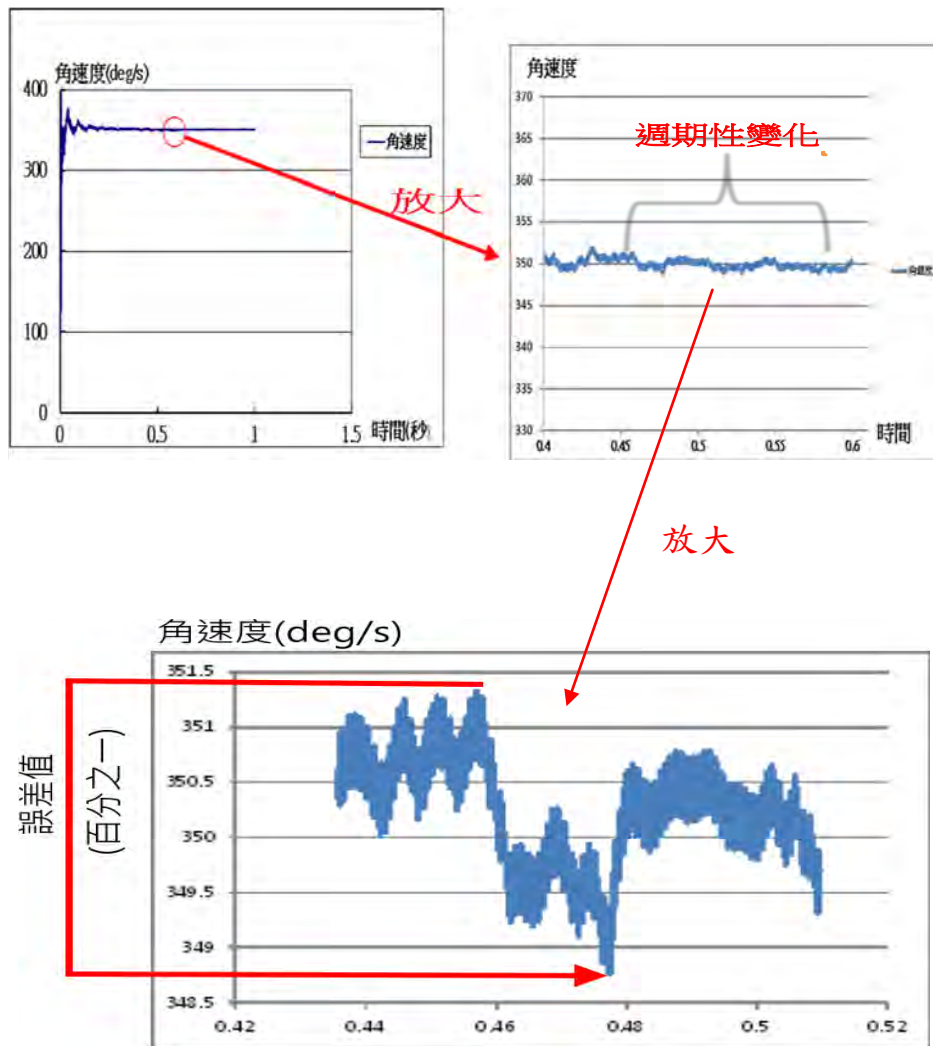


圖 18 角速度輸出 (度/秒)

(三) 和現有齒輪式減速機性能分析比較

從設計到零件主裝接運轉測試後，接下來最重要的就是性能測試與分析。本專題的設計方向是朝非齒輪式的減速機，故與齒輪式之減速機做性能比較。根據（利海電機有限公司）所提供之齒輪減速機性能表(圖 19 所示)，利用功能原理的方法，比較輸入功率及輸出功率，計算可得知齒輪式減速機效率大約在 89%~90%之間，圖 20 所示。由圖 21 可以觀察出，齒輪式減速機的效率，和輸入的功率沒有很大的關係。

減速比	出入軸迴轉速 (RPM)	出立軸容許值		
		0.1KW	0.75KW	2.2KW
	60HZ	Kg-m	Kg-m	Kg-m
1/3	570	0.13	1.0	3.5
1/5	360	0.25	1.9	5.6
1/10	180	0.50	3.8	11.2
1/15	120	0.75	5.7	16.8
1/20	90	1.0	7.5	22.4
1/25	72	1.2	9.4	28.0
1/30	60	1.5	11.3	33
1/40	45	1.9	14.6	43
1/50	36	2.4	18.3	54
1/60	30	2.9	21.9	
1/75	24	3.6	27.4	
1/100	18	4.9	36	
1/120	15	5.8	43	
1/150	12	7.3	54	
1/200	9	9.7	73	

圖 19 齒輪減速機性能表（利海電機有限公司提供）

圖表 1		fx					
	A	B	C	D	E	F	
1		輸入功W	輸出功 KW	rpm	效率	效率百分比	
2		100	0.13	570	76.00684	76.01%	
3		100	0.25	360	92.316	92.32%	
4		100	0.5	180	92.316	92.32%	
5		100	0.75	120	92.316	92.32%	
6		100	1	90	92.316	92.32%	
7							
8							
9							
10							

圖 20 齒輪式減速機效率計算

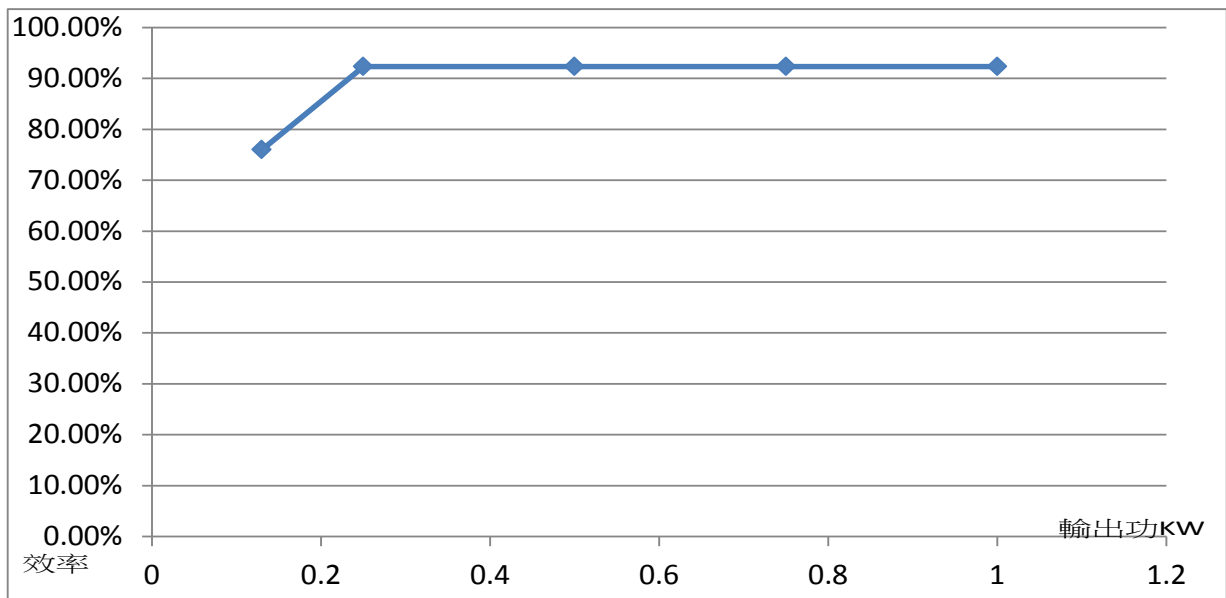


圖 21 齒輪式減速機效率曲線(輸入功率為變數)

為了測量本專題之非齒輪式減速機之效率，因為沒有功率計，所以我們使用彈簧拉力計及自製砝碼進行扭矩大小的量測。藉由輸入力矩及輸出力矩的比較來計算本專題減速機的效率。測量方法為先用兩根長度不一的金屬棒做為輸入、輸出力臂。首先在 60mm 的輸入力臂掛上一彈簧拉力計，並且在輸出力臂上用鐵絲分別掛上 500 公克、1000 公克、1500 公克、2000 公克自製砝碼進行力矩測試。圖 22 所示。測量方法為在輸入軸上以手對彈簧拉力計施加力量，同時觀察輸出軸所掛上砝碼的靜動點並記錄彈簧拉力計上的數值，把數值做成圖表及曲

線圖，圖 23、圖 24 所示，可以經由理論機械利益公式及實際機械利益公式(2)、(3)求得本減速機之效率。

理論機械利益:M

實際機械利益:M

輸入轉速:w1

輸出轉速:w2

減速比;n1

效率： η

$$M = w1/w2 = 1/n1 \quad (2)$$

本專題設計減速比 n1 為 1/9，由上述理論代入可得理論機械利益 M=9

實際機械利益 m 的計算方法如圖 23 所示，比較輸入力矩的輸出力矩來求得。最後

利用效率的計算公式：

$$m = M * \eta \quad (3)$$

代入整理的圖表數據可得 η 大約為 36%。

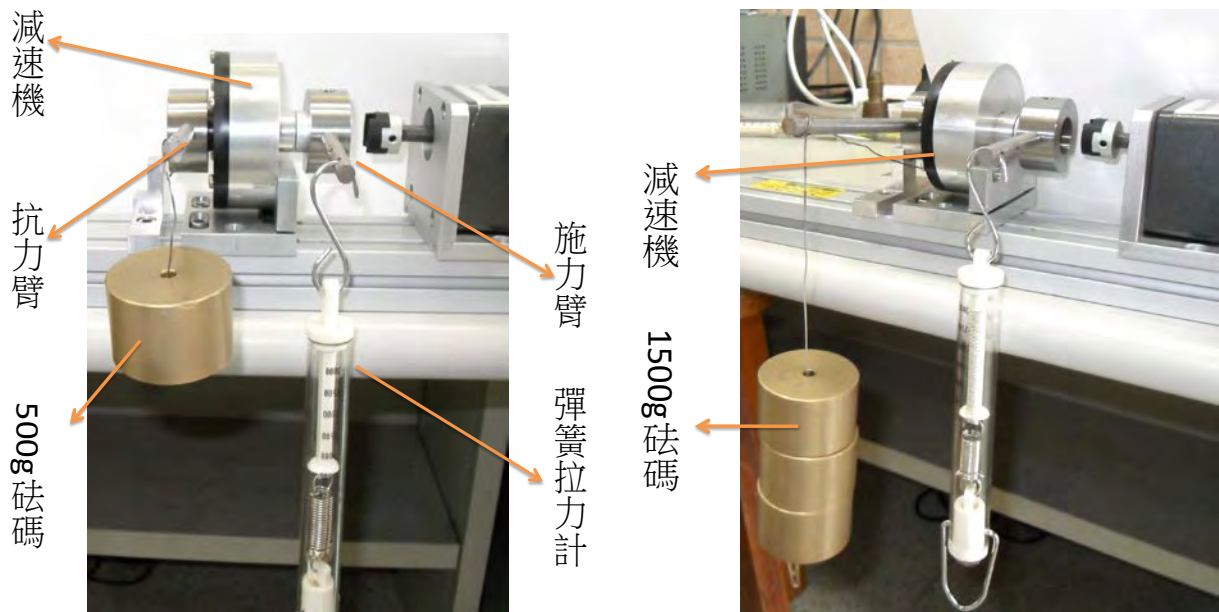


圖 22 本專題減速機效率測試

	施力	輸入力矩 cm-kg	抗力	輸出力矩 cm-kg	輸出力矩/輸入力矩	效率
施力臂6cm						
抗力臂13cm	0.6	3.6	0.8	10.4	2.888888889	32.10%
	0.8	4.8	1.2	15.6	3.25	36.11%
	1.2	7.2	1.8	23.4	3.25	36.11%
	1.8	10.8	2.4	31.2	2.888888889	32.10%

圖 23 本專題減速機功率表

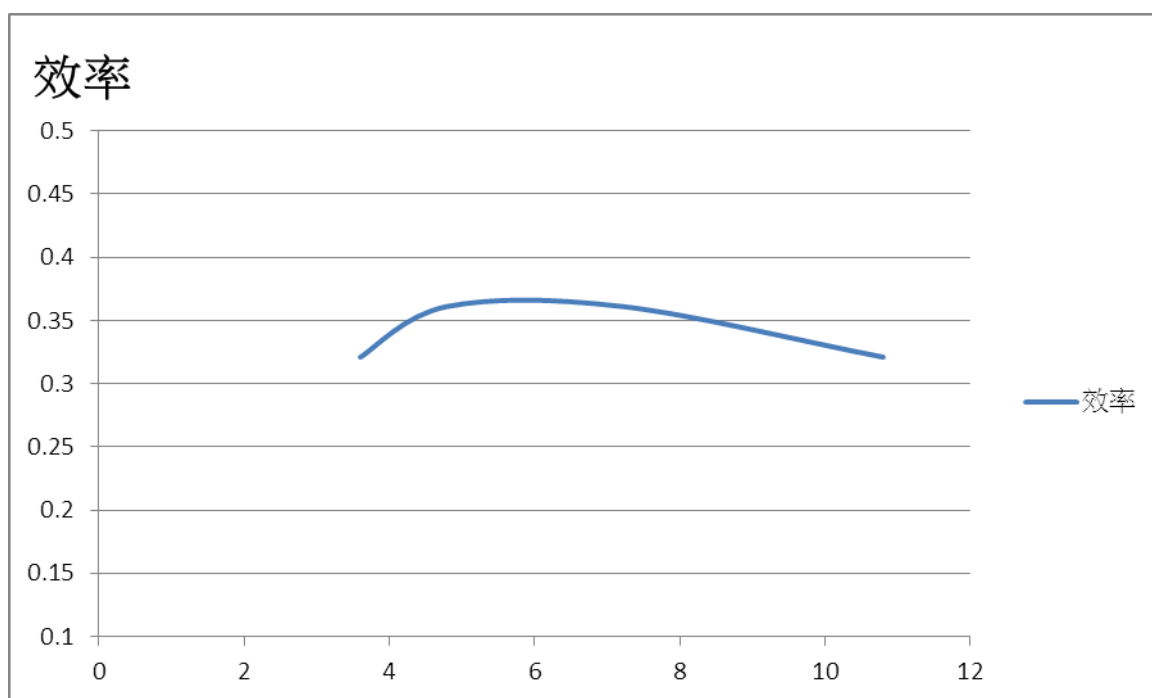


圖 24 本專題減速機效率曲線表

由以上的討論我們得知本專題的效率比齒輪的減速機低，我們針對此機構之效率進行討論，提出了下列可能影響此機構效率的原因如下：

1. 波形產生器材料的摩擦力大：因為當初考量零件的製造方便性採用鋁來作為零件的材料，但是一般齒輪都是由硬化鋼材來製做而成，所以效率會較低。
2. 波形產生器上 Sin 曲線切削的精確性：由 CAM 程式所製作出的刀具路徑是料小段的直線來近似 Sin 曲線，而且曲線完成後沒有經過研磨的程序。
3. 此機構的傳動方式為因再透過鋼珠的位移來傳動，故效率流失較大。
4. 鋼珠在凸輪曲面產生滑動產生摩擦。

5. 使用扭力計及轉速計來測試。

我們討論可以改進方法如下：

1. 針對 3D 立體凸輪材料改為鋼材並加以進行熱處理以減少摩差。
2. 零件加工精度需再提高。
3. 使用直徑較大的鋼珠。

二、結論與討論

在機構的設計中若有使用減速機，對減速機的需求除了減速比外，輸出軸的角速度須穩定輸出而沒有週期性的變化產生(震動)。在圖 18 中，我們觀察出所設計減速機的輸出角速度有週期性的變化產生，可能的原因如下：

1. 輸入軸本身角速度不穩定、有週期性變化產生。
2. 由立體凸輪曲面所引起
3. 機台震動。

由於測試台的馬達輸出沒有經過量測，所以也有可能，但是經由初步觀察，應是立體凸輪曲面加工及波形產生器加工誤差所致。

可以改進方法如下：

1. 在輸入軸加裝一個編碼器，同時擷取輸入、輸出訊號做比較。
2. 探討不同曲線（二次曲線、斜直線等），用於波形產生器與立體凸輪。
3. 製造精度再增加。

減速機的輸出轉速測試方法，應再精確一點，測試設備上在輸入軸端應再加一個光學編碼器，來量取輸入的角度及角速度，最後再比對輸出軸的光學編碼器上的角度及角速度，就可以看出減速比及角速比，這二個比值應為 9:1，這樣馬達轉速不穩、機台震動的因素就可以排除。另外在訊號擷取上的時間應該拉長，所以要使用專業的訊號擷取儀器來做測試。

本專題驗證了非齒輪式減速機的可行性，除了有同軸輸入輸出的功能外，相同尺寸可設計不同的速比的方便性，但在效率方面要再加強設計。另外在機件原理課程中，有提到機件運動的型態，其中有提到加減速觀念的運動軌跡，將來也可應用在本專題上。

陸、參考文獻

- 1、徐孟輝(民 95)，創意機構設計，東大 台南
- 2、李文欽(民 80)，自動省力化機構，建興 台北
- 3、葉倫祝(民 99)，機件原理，全華 台北
- 4、賴光哲(民 90)，機械構造解剖圖鑑，世茂 台北
- 5、<http://www.gtc-gearbox.com/?lg=T> 鼎縊有限公司
- 6、<http://www.chusheng.com.tw/> 嘉晟精密有限公司
- 7、<http://www.sh-lihai.com/> 上海利海電機有限公司

【評語】 090903

本作品使用三角函數特性，研發具創意且含新創機構之減速機，實驗也證明可達到減速效果，難能可貴。唯本作品新創機構須大量使用鋼珠摩擦滑動行程，消耗能量，導致傳動轉距大量損失，成為低效率產品。本作品雖不是一件具商業價值之減速機，但其創新傳動方式應有許多具應用價值場景，值得後續觀察和探索。