

全國高級中等學校專業群科 107 年專題及創意製作競賽

賽「專題組」作品說明書

群別：機械群

作品名稱：攻牙過載保護機構

關鍵詞：過載保護、攻牙，車銑複合機加工



目錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、主題與課程之相關性或教學單元之說明	2
肆、研究方法	3
一、研究流程.....	3
二、文獻探討.....	4
三、設備及材料.....	8
四、機構設計.....	9
五、零件設計與製作.....	10
伍、研究結果	14
一、攻牙測試.....	14
二、過載保護測試.....	16
三、過載保護扭矩值範圍.....	16
四、機構攻牙所能承受的最大轉速.....	17
五、彈簧常數的驗證.....	18
陸、結論	18
一、機構成功攻牙並達到過載保護的效果.....	19
二、攻牙內孔異物造成排屑不順.....	19
三、過載保護有效扭矩範圍為約在 12 ~50kgf · cm 之間	19
四、機構 M5 螺絲攻攻牙所能承受之最大轉速為 250rpm.....	19
五、量測之扭矩與計算之扭矩值僅差 0.52kgf · cm	20
柒、參考資料	20

全國高級中等學校專業群科 107 年專題及創意製作競賽

賽「專題組」作品說明書

【攻牙過載保護機構】

壹、摘要

在高二的實習課中，同學因剛接觸車床不久，尤其是以尾座加工的項目，其中最容易造成刀具損壞的就是車床上攻螺紋，因為初學，在力道的拿捏及垂直度的技巧都不純熟的情況，容易施力過當，使螺絲攻斷裂，因此，我們設計一項攻牙過載保護機構，希望解決此問題。

研究目的為設計攻牙過載保護機構以及測試過載保護之扭矩範圍，我們在發現問題之後，跟老師討論可行性，並開始著手設計並製作機構，組裝完成之後進行功能的測試；扭矩測試方面，我們以 M5 螺絲攻進行測試搭配扭力板手測量其扭矩大小。

經實驗結果知道機構成功攻牙並達到過載保護的效果、攻牙內孔異物造成排屑不順、過載保護有效扭矩範圍為 12 ~50kgf·cm 之間、M5 螺絲攻所能承受之最大轉速為 250rpm 以及量測之扭矩與計算之扭矩值僅差 0.52kgf·cm。

貳、研究動機

車床在傳統加工中扮演著很重要的角色，而一般傳統車床加工時，比較常見的單元有階級、切槽、錐度、輓花以及螺紋。而螺紋加工又分為內螺紋及外螺紋，這兩種加工一般皆以車削來進行加工，其中內螺紋也可以利用螺絲攻攻製；外螺紋使用螺絲模鉋絲。而學校車床實習課程中，老師也有教車床上攻牙這項實作技能。加工內螺紋時，同學常因螺絲攻與工件不同心、不垂直或動作不純熟而導致螺絲攻斷裂或崩牙，造成刀具的浪費。

因此，我們想設計一個攻牙機構，將其裝置於車床尾座，以主軸夾持工件迴轉，並透過螺絲攻來帶動我們的機構向前滑動來完成攻牙。但攻牙過程中還須考量因扭力過大而造成螺絲攻損壞，因此本研究亦想增加過載保護的功能在機構中，以達到保護刀具的目的。

本專題的零件加工部分以學校內現有的加工機台為主，測試的部分以 M5 的螺絲攻為主，並嘗試融入過載保護來預防攻牙時，因扭力太大導致螺絲攻崩壞的情況，其研究目的如下：

- 一、設計攻牙過載保護機構，並加工製作。
- 二、測試過載保護之扭矩範圍，並驗證彈簧常數及扭矩值。

參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

本專題主題與課程之相關性將主題分為文獻探討、機構設計、零件加工三個部分進行說明。其內容包含了機件原理、機械力學、識圖實習、製圖實習、電腦輔助製圖實習、機械加工、數值控制機械實習以及機械製造課程等單元項目。

在文獻探討的部分，我們參照了機件原理、機械力學內的彈簧單元以及平面力系問題討論，來做彈簧常數的運算，並計算在過載保護部分的力矩問題。

在機構設計的部分，我們運用了識圖實習中裡的工程製圖之尺度標註，來制定機構配合所需的尺寸，以及製圖實習中的線條與字法、基本工作圖單元，來做機構立體圖的設計繪製電腦輔助製圖實習中。最後，我們融入標準零件繪製、零件圖與組合圖、3D 繪圖實作這三個單元。

在零件加工的部分，我們運用了機械加工實習中外錐度錐角、去角車銑、壓花、車床上攻螺紋、銑床基本操作、端銑削，數值控制機械實習中 CNC 銑床基本操作、CNC 銑床銑削（二）、CNC 車床基本操作、CNC 車床車削（二）等多個項目來做加工並且以機械製造中的測量原理及方法來做零件的測量，詳細資料我們整理後將其製成表格，如表（1）。

表（1）：主題與課程之相關性或教學單元之說明

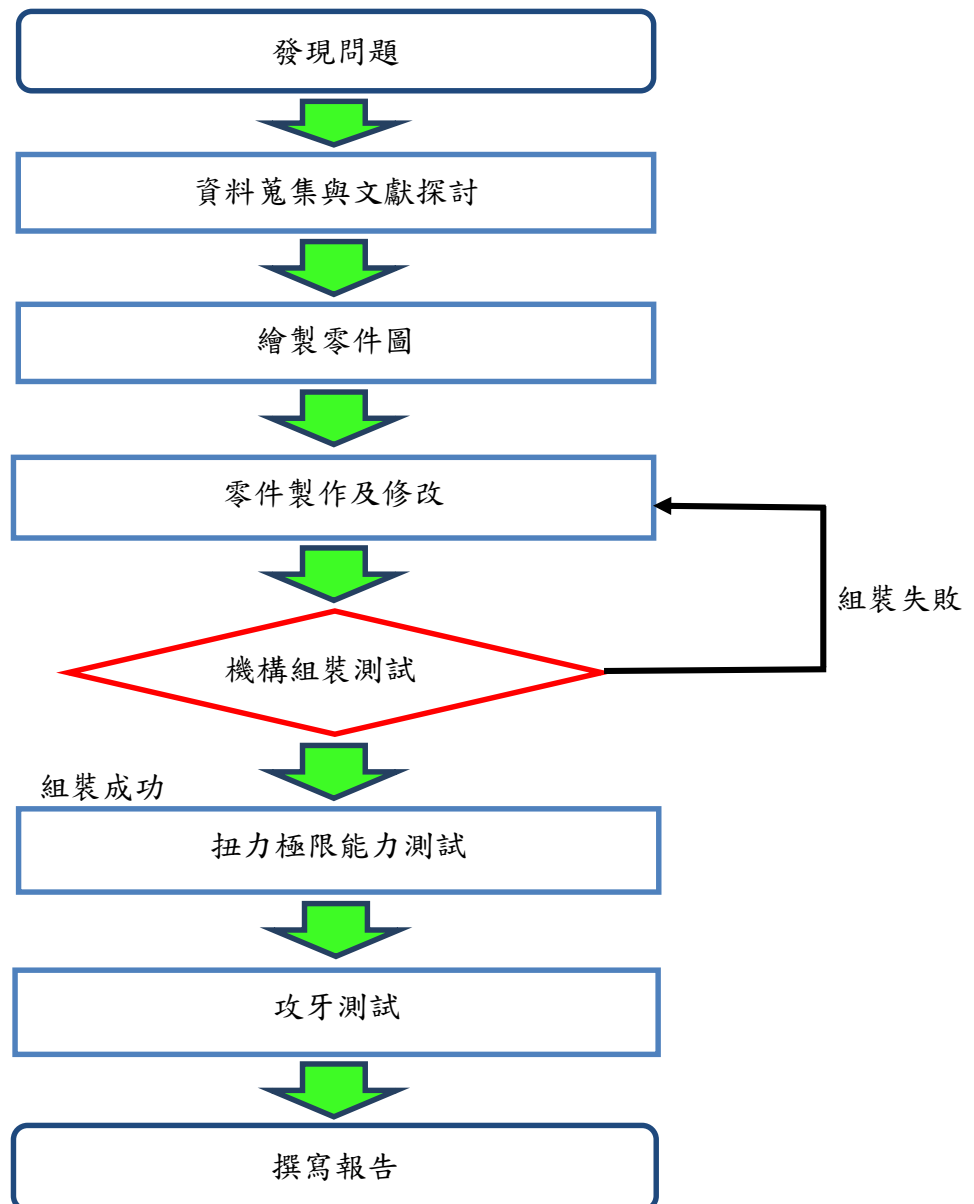
相關主題	專業科目課程	教學單元	專題應用
文獻探討	機件原理 I II	彈簧	彈簧常數之運算
	機械力學	平面力系問題探討	力矩與力矩原理的運算
機構設計	識圖實習	工程製圖之尺度標註	制定零件公差
	製圖實習	線條與自法、基本工作圖	2D 零件圖繪製
	電腦輔助機械製圖實習	標準零件繪製、零件圖與組合圖、3D 繪圖實作	立體零件圖與組合圖設計繪製
零件加工	機械加工實習	外錐度錐角、去角車銑、壓花、車床上攻螺紋、銑床基本操作、端銑削	零件製作
	數值控制機械實習	CNC 銑床基本操作、CNC 銑床銑削（二）、CNC 車床基本操作、CNC 車床車削（二）	零件製作
	機械製造	量測與品管、工作機械	零件量測

肆、研究方法

本專題之研究方法分別為研究流程、文獻探討、設備及材料、機構設計與零件設計與製作五個部分進行說明，其詳細內容如下。

一、研究流程

我們透過書籍及網路查詢相關資料，並在構思出基本雛形後，以 Solid Works 2010 繪製出 3D 零件圖並進行模擬組裝，先確認是否有重大干涉，再以 Auto Cad 2012 繪製出 2D 零件圖並標示出公差，再運用學校的加工機來製作出零件，並組裝，若組裝成功在進一步進行扭力以及攻牙的測試；若是失敗再將問題找出並且加以修正。在測試成功後，再撰寫報告，詳細的研究流程及架構，如圖（1）。

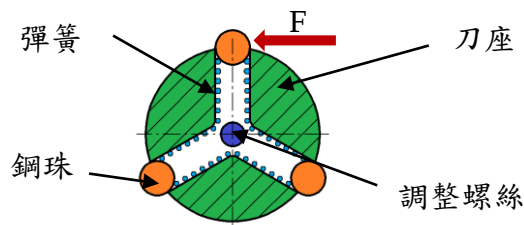


圖（1）研究流程

二、文獻探討

（一）扭矩

在說明扭矩之前要先從力矩談起，力矩為「作用力對力矩中心或中心軸所產生的轉動效應」（陳海清，2015），其公式為 $M（力矩）= F（作用力）\times d（力臂長度）$ 。當力矩作用在旋轉軸上時又可稱為扭矩（陳崇彥，2015），我們在刀座過載保護之設計採用鋼珠做為固定刀座與本體之介質，當刀座承受作用力時，則會產生一扭矩 $T（torque）$ ，因在刀座上設計三個等分角之鋼珠，如圖（6），因此刀座所產生之扭矩值式子為 $T = 3F \times R$ ，如圖（7）。



圖（6）：刀座示意圖

$$T = 3F \times R$$

T =扭矩

F =作用力

R =旋轉半徑

圖（7）：刀座所產生扭矩值

由此公式我們得知，相同的扭矩，半徑和作用力成反比，因此我們將過載保護鋼珠擺放的位置設計在直徑較大處，如此一來只需較小的作用力就可獲得較大的扭矩，以足夠提供攻螺紋所需之扭矩值。

（二）扭力限制器

扭力限制器「其主要功能為過載保護，當超載或機械故障而導致扭矩超出預設值時，它會以打滑型式限制所傳動之扭力」（百度百科扭力限制器，2018），而當超載情形消失後自動恢復傳動，因此又稱過載保護機構。本機構利用此特性可達到預防螺絲攻因承受過大扭矩而斷裂之目的，因而使用此機構。扭力限制器較常見的形式為滾珠式、摩擦式及磁滯式等三種形式，其詳細說明如下。

1、滾珠式扭力限制器

「滾珠式扭力限制器工作原理是採用精密彈簧來控制臨界扭矩，所以可以達到非常精確的扭矩值。」（享盛有限公司產品項目，2018），因此只需要更換不同彈簧常數的彈簧，即可變換不同的打滑扭矩，它們優點為過載後反應速度快，設定扭矩值精度較高，缺點為結構較複雜。

2、摩擦式扭力限制器

摩擦式扭力限制器是利用摩擦力來產生臨界扭矩的扭力限制器。摩擦式的優點為結構較簡單，方便拆裝及維護，但缺點為設定扭矩值精度較差，且過載後會有殘餘扭矩。

3、磁滯式扭力限制器

磁滯式扭力限制器是利用永久磁鐵產生磁性力構成之扭力限制器，它們的優點為體積小、壽命長、控制性佳且有高穩定性，缺點為成本較高。

表（2）：各種形式扭力限制器優缺點之比較表

形式	滾珠式	摩擦式	磁滯式
外型			
優點	過載反應速度快， 扭矩值精度較高。	結構簡單，方便拆裝 及維護。	體積小、壽命長、控 制性佳及高穩定性。
缺點	結構較複雜。	扭矩值精度較差。	成本較高。

我們將三種形式之扭力限制器做優缺點之比較，如表（2）。在機構設計上為了避免螺絲攻在攻牙時，因扭力過大造成螺絲攻扭轉斷裂，且能調整其扭矩值。在表中我們發現摩擦式扭力限制器雖然結構簡單，但因扭矩值精度較差，不符合我們的需求；而磁滯式扭力限制器雖然有優良的性能，但因較高的成本所以不納入考量，因此我們選擇過載反應速度快、扭矩值精度較高的滾珠式扭力限制器來進行機構設計。

我們的機構利用壓縮彈簧產生向上的力使鋼珠向上推擠與本體之凹槽保持接觸，當產生扭矩時，本體給鋼珠 F 的力，而此力會分解出 F_x 之水平分力以及 F_y 之垂直分力，當 F_y 的力大於彈簧之向上推力時，會使鋼珠向下而脫離本體之凹槽，使本體與刀作產生相對旋轉運動，如圖（2），達到過載保護之功能，而當扭力回復為極限以下時，可使鋼珠回到本體凹槽中，回復原本的傳動。

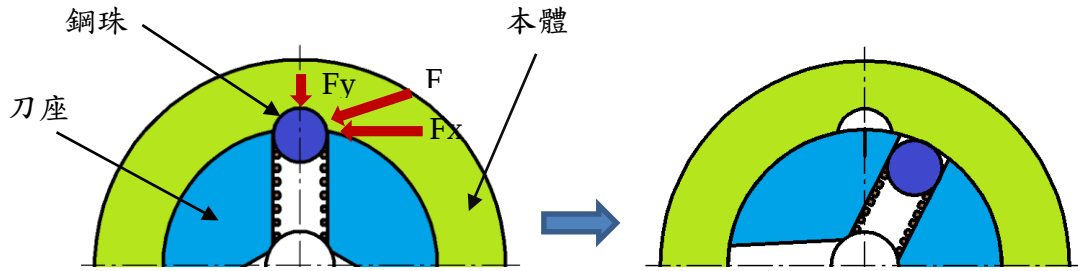


圖 (2)：扭力限制器原理圖

(三) 錐度

「錐度又稱推拔，當工件直徑沿其軸心線均勻的產生增大或減小時，則稱此工件具有錐度。」(林鴻儒，2008)。錐度的功能有自動對心、夾持、調整等，我們的機構在錐度設計的部分主要為自動對心及調整的功能，其詳細說明如下。

1、自動對心

由於本機構希望利用車床尾座與主軸的同心度與垂直度，使螺絲攻裝置在本機構上可以具有以上兩特性，所以需要錐度的自動對心功能。「車床尾座之心軸為空，內為莫氏錐度」(何益川、田潮訓、洪兆亮，2018)，莫氏錐度除了具有自動對正主軸中心之外，還有自鎖的特性，在沒有適當外力作用下是不會自行脫落。蔡俊毅、賴育材與李德福 (2014) 提到車床尾座之錐度為莫氏錐度 4 號，經查表後錐度值為 1:19.254，利用此值就可以計算加工出與尾座契合之本體柄部。

2、調整

攻牙所需之扭矩會因為螺絲攻大小及材料而有所不同，因此我們設計一個調整螺絲，如圖 (3) 所示，利用斜面原理於調整螺絲上設計一個 1:5 的錐度，隨著螺紋的軸向移動使彈簧產生徑向的壓縮，如圖 (4) 所示，以增加扭力限制機的徑向推力，進而增加過載保護之扭矩值，以適應各種尺寸之螺絲攻與材料之切削。

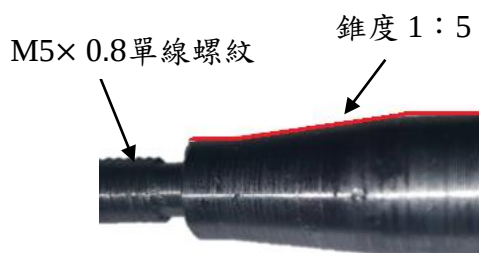


圖 (3)：調整螺絲示意

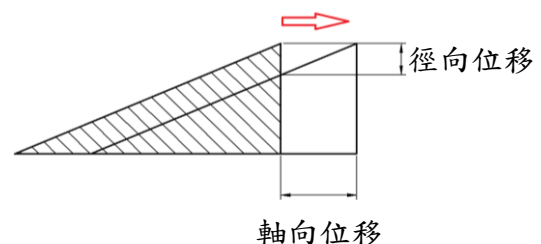
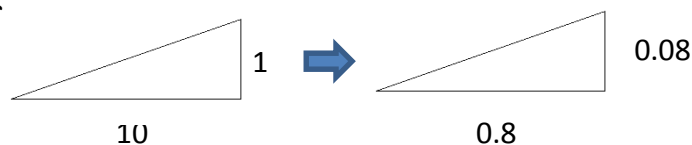


圖 (4)：軸向與徑向位移之關係

因為調整螺絲上之錐度為 1:5，斜度為錐度值之一半，所以斜度值為 1:10，調整螺絲上我們採用 M5×0.8 的單線螺紋，其導程為 0.8mm，故調整螺絲每轉一圈，彈簧壓縮位移量 (x) = 0.8x1/10 = 0.08mm，如圖 (5) 所示



圖(5)：錐度比例示意圖

(四) 彈簧常數

彈簧常數是指「彈簧承受負荷作用時，其所受負荷與變形量之比值。」(柯雲龍、潘建安，2013)，彈簧常數愈大，則彈簧越不容易變形。以下為我們所使用的彈簧之彈簧常數計算：

虎克定律： $P = k\delta$

P=彈簧受力

k=彈簧常數

δ =彈簧的撓曲

王建義 (2011)提到彈簧的撓曲式子為：

$$\delta = \frac{8N_a D^3 P}{G d^4}$$

δ =彈簧的撓曲

G=橫彈性係數

N_a =有效圈數

D=螺旋平均直徑

d=金屬線徑

P=彈簧受力

$$\text{彈簧常數 } k = \frac{P}{\delta} = \frac{P G d^4}{8 N_a D^3 P} = \frac{G d^4}{8 N_a D^3}, \text{ 已知條件為；}$$

G=線材之鋼性模數 ($6.85 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 彈簧材質為 SUS304)

N_a =有效圈數 (總圈數-2 = 4-2 = 2 圈)

d=線徑 (1.6mm)

D=平均直徑 (外徑-線徑=8.8-1.6=7.2mm)

$$k = \frac{6.85 \times 10^4 \times 1.6^4}{8 \times 2 \times 7.2^3} = 75.172 \text{ N/mm} = 7.67 \text{ kgf/mm}$$

經計算後我們彈簧的彈簧常數為 7.67kgf/mm，此值會在之後章節進行更多計算與驗證。

(五) 手工螺絲攻及機器用螺絲攻的比較

手工螺絲攻在使用上須配合螺絲攻扳手來做使用，並「進行旋轉一次或兩次反轉其約一半以斷屑切屑」(張甘棠，1993)；而「機器用螺絲攻的排屑槽為螺旋槽狀，目的是對管形材料加工時，切屑會研螺旋槽而成條狀捲曲並往柄端排出。因此沒有切屑殘留或堵塞於溝槽的困擾」(張宏智、陳順同，2014)；上述兩種螺絲攻的比較中，機器用螺絲攻因有螺旋槽之排屑設計，相較於手工螺絲攻須反轉斷屑，更適合用於本機構連續攻牙的需求，因此我們將採用機器用螺絲攻來做主要的測試。

三、設備及材料

俗語說，工欲善其事，必先利其器，因此找到適當的設備與材料是必要的，本研究設備及材料分別依加工設備、零件材料、切削刀具、專業軟體等四部分說明，詳細內容，如表(3)，其分述如下。

- (一) 設備及儀器：加工中心機、磨床、車床、銑床、鑽床、砂輪機、油壓帶鋸機、CNC 車銑複合機。
- (二) 零件材料：鐵塊 (S20C)、螺絲。
- (三) 切削刀具：鋸條、螺絲攻、車刀、鑽頭、銑刀、絞刀、螺絲模等。
- (四) 專業軟體：Auto Cad、Microcoft Word、Solid Works、Mastercam、Microcoft Excel。

表(3)：設備及材料表

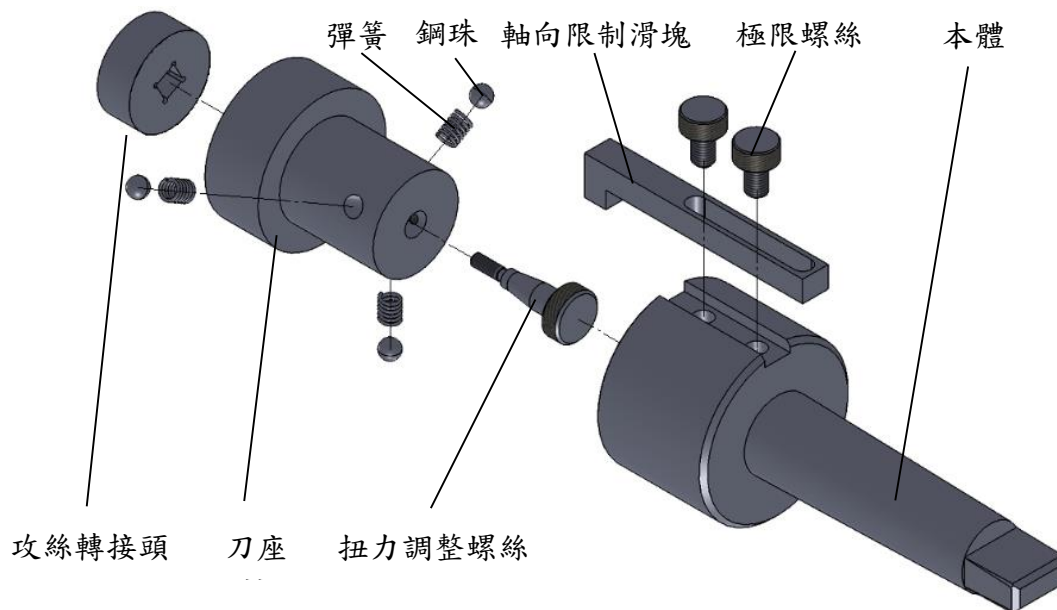
項目	名稱	單位	數量	備註
設備與儀器	加工中心機	台	1	瑞峰精機 BMV-900
	磨床	台	1	準力平面磨床 JL-618
	車床	台	2	威赫車床 430x560mm
	銑床	台	1	松順銑床 S-2m
	鑽床	台	1	金剛 KSD-420
	砂輪機	台	2	BALDOR 8107W
	油壓帶鋸機	台	1	威全 UE-71ZA
	CNC 車銑複合機	台	1	瑞峰精機 MT-280PL
零件材料	鐵塊 (S20C)	塊	若干	依照需求選用不同尺寸
	螺絲	個	適量	M5
切削刀具	鋸條	條	1	14T 鋸條
	螺絲攻	支	4	M4、M5、M8
	車刀	把	若干	外徑、切槽、倒角、壓花
	鑽頭	支	若干	依照需求選用不同尺寸
	銑刀	把	若干	依照需求選用不同尺寸
	絞刀	支	若干	
	螺絲模	個	1	M5、M8
專業軟體	Solid Works 2010	套	1	3D 立體圖
	Mastercam	套	1	CNC 模擬驗證
	Auto Cad 2012	套	1	2D 工作圖
	Microcoft Word 2013	套	1	書面報告
	Microcoft Excel 2013	套	1	表面織構粗糙度波紋圖

四、機構設計

以徒手畫繪製出雛形之後，再用 SolidWorks 繪製出 3D 零件來決定尺寸，並且觀察是否會干涉，說明如下：

（一）零件配置

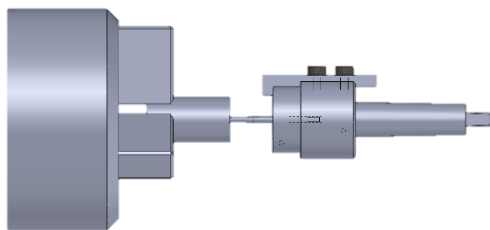
先以徒手畫將機構的雛型設計出來，並將設計好的草圖以 SolidWorks 繪製出 3D 立體圖，其機構零件為本體、刀座、扭力調整螺絲、絲攻轉接頭、軸向限制滑塊、極限螺絲、鋼珠與彈簧等，立體系統圖如圖（6）。



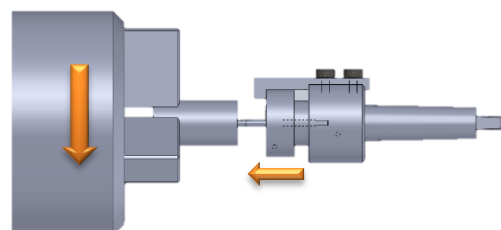
圖（6）：立體系統圖

（二）機構作動模擬

本機構作動方式為直接將主軸開啟，並用尾座手輪直接將螺絲攻靠到工件內，如圖（7），在攻牙的過程中，刀座就會被螺絲攻拖曳而出進行攻牙，如圖（8）。



圖（7）：將螺絲攻靠到工件



圖（8）：主軸正轉

在螺絲攻攻到盲孔底部或有不當的攻絲情形時，如螺絲攻與工件不垂直或有異物於內孔，而造成過大之扭矩時，刀座就會跟基座打滑產生相對旋轉運動，如圖（9），並且跟主軸同步旋轉，達成攻牙以及保護螺絲攻的效果。而在退刀方面，只需將主軸反轉，如圖（10），便可將螺絲攻退出。

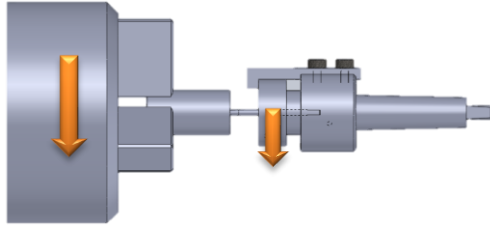


圖 (9)：刀座打滑

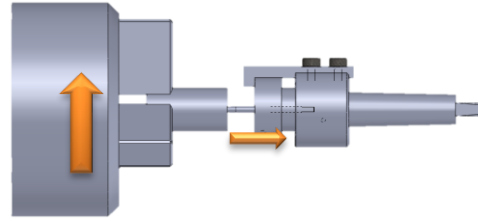


圖 (10)：主軸反轉，將螺絲攻退出

五、零件設計與製作

本機構之零件製作分為本體、刀座、扭力調整螺絲、絲攻轉接頭、軸向限制滑塊組等五個部分進行說明。其詳細說明如下。

(一) 本體

本體主要分為首端及尾端兩個部分，首端主要是內部能容納扭力限制裝置的功能使鋼珠能於半圓直槽中滑動使刀座能前後移動；尾端為裝置於車床尾座之使用以獲得良好之同心度與垂直度，所以參考了錐柄鑽頭的鑽柄來製作，主要有錐度以及鑽根兩個部分，其詳細說明如下。

1、首端

首端設計包含了內孔半圓直槽及軸向滑塊座之設計，在內孔半圓直槽製作上比較特別的地方為設計放置鋼珠的直槽，而半圓直槽的功用為限制滾珠只能前後做軸向滑動，做軸向的位移並利用鋼珠限制刀座與本體產生固定之相對運動以達到螺絲攻攻牙之效果。為了避免鑽削等分圓孔歪斜，因此在製作時利用車銑複合機先將等分圓孔在端面上鑽削出來，如圖 (11)，再使用搪孔刀車製內孔直徑到 40mm 之尺寸，圖 (12) 為首端內孔半圓直槽之完成圖。



圖 (11)：等分圓孔鑽削加工



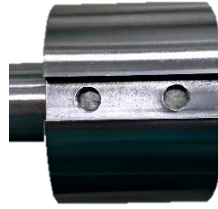
圖 (12)：首端內孔半圓直槽

在軸向滑塊座的部分，為了將軸向限制滑塊裝置於本體上，所以我們在首端的位置設計了一個滑塊座以讓軸向限制滑塊固定於本體上，並使其滑塊沿滑塊座之凹槽做軸向位移，如圖 (13)。在加工上我們將本

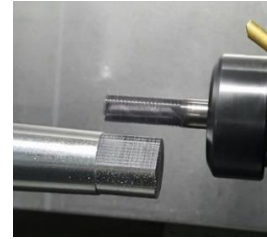
體前端夾至傳統銑床虎鉗上，再利用端銑刀銑出一條滑槽，使軸向限制滑塊可以在滑槽上滑動，並將滑槽底面鑽兩個螺紋孔，再配合固定螺絲達到鎖緊軸向限制滑塊的功用，如圖（14）。



圖（13）
軸向滑塊座之凹槽



圖（14）
滑塊座之極限螺絲孔



圖（15）
鑽根加工之情形

2、尾端

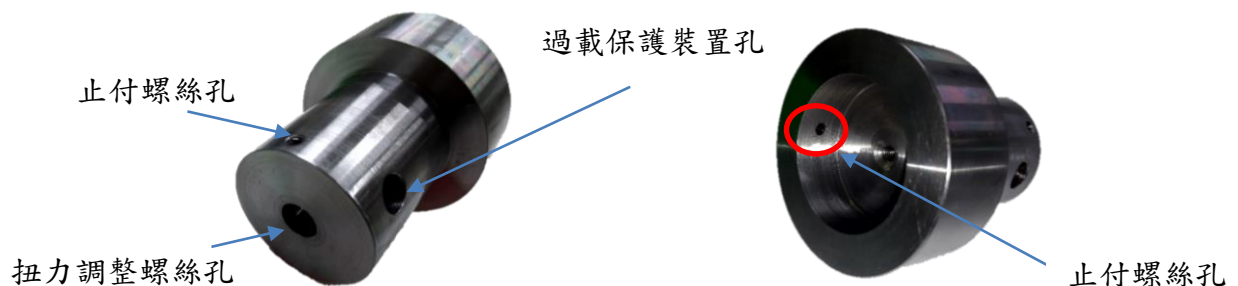
尾端的製作方式為，利用 MasterCam 繪製圖形後，進行加工方式設定並模擬刀具路徑，將程式後處理轉出，再傳輸到 CNC 車銑複合機上。在加工上我們先將莫氏錐度（MT4）車出，後將鑽根銑削出來，圖（15）為利用車銑複合機進行鑽根加工之切削情形。

（二）刀座

刀座的功能有過載保護以及裝置絲攻轉接頭兩個部分，為了防止攻螺紋時刀座與絲攻轉接頭產生相對旋轉運動，因此利用止付螺絲加以固定，其詳細說明如下：

1、過載保護裝置孔

過載保護裝置孔的設計，為了讓機構受力可以平均，我們在圓周上平均分配了三個等分孔，以車銑複合機來控制三個等分孔的角度，並且進行鑽削。而止付螺絲之功能為固定調整螺絲達到防止調整螺絲鬆動的功用，因此只要將的孔位錯開即可，如圖（16）。



圖（16）：刀座部位說明圖

圖（17）：絲攻轉接頭裝置部位

2、絲攻轉接頭裝置部位

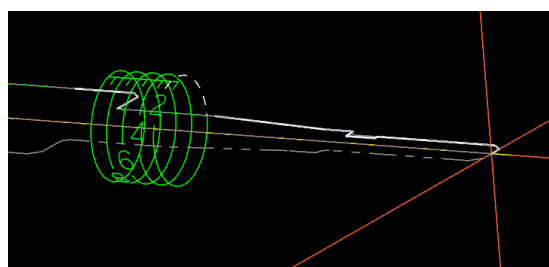
裝置絲攻轉接頭之凹槽設計，主要為放置絲攻轉接頭並加以固定，而外型以螺絲模為參考進行設計，所以將內孔設計為圓形，如圖（17）。而刀座為了能固定絲攻轉接頭在刀座前端的圓周面上攻製螺紋孔，再配合止付螺絲達到鎖緊螺絲模跟絲攻轉接頭的作用。

（三）扭力調整螺絲

扭力調整螺絲之目的為利用錐度的大小端來調整彈簧的壓縮量，藉此來達到控制扭力的大小，獲得最佳之扭矩值進而精確調整所需之扭矩。而此機件為了易於調整彈簧之鬆緊程度，在扭力調整螺絲尾端加入了輓花的技術，使機件可以只用手轉就能調整其過載保護之扭矩值，如圖（18）。在調整螺絲平面的部分我們設計了刻度的部分，以方便我們瞭解扭力調整螺絲扭矩值之設定。在刻度的部份我們利用 CNC 車銑機刻在錐度後面的圓周上，其刻度為螺紋轉動之圈數，讓操作者知道螺絲轉了多少圈，如圖（19）。



圖（18）：扭力調整螺絲



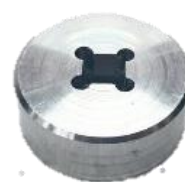
圖（19）：繪製刻字路線（MasterCam）

（四）絲攻轉接頭

本機件主要有兩個功能，一面是供螺絲攻安裝使用，如圖（20）；另一面是供扭力扳手測試用的方孔，如圖（21）。安裝螺絲攻的這部分，由於我們針對 M5 螺絲攻進行切削測試，因此以螺絲攻尾端 4.4mmX4.4mm 的方孔進行設計。但因內孔太小若沒有線切割機則不易加工。



圖（20）：安裝螺絲攻面



圖（21）：扭力扳手配合孔

於是我們將螺絲攻安裝這面內孔加大，並設計 2 塊 L 型鐵塊，如圖 (22)，兩個合併與螺絲攻轉接頭組裝後，中間為 4.4mmX4.4mm 的內孔，如圖 (23)，藉此來解決小方孔加工不易的問題。而扭力扳手的這面也同樣為方孔，但是其方孔為 9.2mmX9.2mm，對於銑削加工來說是比較容易的，因此直接用 CNC 銑床將方孔銑削出來即可，如圖 (24)。如此一來，只需翻一個面並且鎖固於刀座上，即可螺紋攻製或是測量扭矩大小。



圖 (22): L 型鐵塊 圖 (23): 螺絲攻內孔組 圖 (24): 扭力扳手方孔銑削

(五) 軸向限制滑塊組

軸向限制滑塊組主要為限制刀座在進行攻牙時，因伸長量過大而與本體造成脫離的現象，為限制刀座之位移量，也就是限制我們螺絲攻之伸長量，本機構螺絲攻伸長量之限制為 0~25mm。我們將滑塊組分為兩部份，其一為軸向限制滑塊，另一部分為極限螺絲以控制伸長之極限位置。

1、軸向限制滑塊

為了防止攻牙時刀座整個因攻牙的長度過長使刀座與本體分離，因而設計一個 L 形的檔塊限制了刀座的軸向運動量，並且於軸向限制滑塊兩側刻畫刻度，而刻度上 0 (mm) 跟 25 (mm) 的位子分別為刀座攻牙前進或後退之極限，讓操作者能夠明顯看出目前攻牙深度，如圖 (25)。

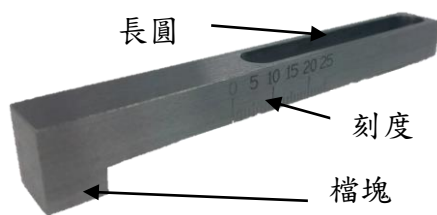
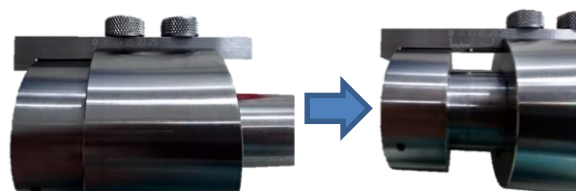


圖 (25): 軸向限制滑塊



攻牙前

攻牙後

圖 (26): 軸向限制滑塊組運動之情形

2、極限螺絲

配合本體滑槽座上的螺紋孔與軸向限制滑塊鎖緊在基座上，而軸向限制滑塊的直狹槽主要為限制刀座伸長與縮短之極限位移量，當直狹槽之兩端接觸到極限螺絲即停止位移，圖 (26) 即為軸向限制滑塊組運動攻牙之動作情形。

伍、研究結果

我們的研究結果將針對機構的攻牙測試、過載保護測試、過載保護可調整的扭矩值範圍、機構所能承受的最大轉速以及彈簧常數的驗證等五項進行說明，詳細說明如下：

一、攻牙測試

在攻牙測試的部分，主要為測試機構是否能正常的做攻牙切削的加工。因此，我們針對 M5 螺絲攻測試獲得其所需之扭矩值安全範圍，再針對機構切削動作進行測試，最後測試攻牙深度，其詳細說明如下。

(1) M5 螺絲攻測試

本機構為避免螺絲攻因扭矩過大或排屑不良而造成螺絲攻斷裂，因螺絲攻尺寸眾多，而本專題主要為測試機構之過載保護功能及能設定之扭矩值範圍，所以我們是以 M5 螺絲攻來做測試。為了瞭解 M5 螺絲攻攻牙所需扭矩之安全值範圍，我們先測試 M5 螺絲攻所需之切削扭矩，再測試螺絲攻斷裂時之最大極限值，找其 M5 螺絲攻之扭矩安全值範圍。在攻牙所需扭矩值的測試上，我們特別設計一個螺絲攻轉接頭，連接螺絲攻及扭力扳手以測得 M5 螺絲攻正常攻牙及螺絲攻斷裂前排屑不良與盲孔攻至底部之極限扭矩，即可獲得 M5 螺絲攻攻牙所需之扭矩值安全範圍。

經測試 M5 螺絲攻正常攻牙所需要的扭矩大約在 31~32 kgf·cm 上下，如圖 (27)。在扭矩值之極限測試，因我們所採用之扭力扳手測量範圍為 0~60 kgf·cm，當扭力扳手超過 60kgf·cm 以上時螺絲攻並未斷裂，如圖 (28)，甚至是超過螺絲攻所能承受的扭矩；而極限測試是將螺絲攻故意攻到盲孔底部，並將其攻斷，來觀測其極限扭矩值，測試後，我們瞭解當扭矩值為 31~32 kgf·cm 可使 M5 螺絲攻正常切削加工，而扭矩在 60kgf·cm 時螺絲攻尚未因扭矩過大而造成斷裂，因此只要我們將過載保護機構的扭矩值設定在 32~60kgf·cm 的範圍內，便可正常攻牙，且螺絲攻不會因扭力過大而造成斷裂。



圖 (27)：正常攻螺紋



圖 (28)：螺絲攻極限

(2) 機構切削動作測試

在機構切削動作測試主要是確認機構之切削動作是否能正常運行，並使刀座能順利前後滑動進行攻牙。首先我們將過載保護機構的扭矩值設定在 $32\sim 60\text{kgf}\cdot\text{cm}$ 的範圍內並進行攻牙，攻牙時，我們將主軸以 50rpm 之轉速直接啟動，將尾座固定後，以尾座之手輪傳動將機構及螺絲攻向前推進。當螺絲攻開始對工件進行切削加工時，如圖 (29)，刀座便會自動向前進給，被螺絲攻帶動。此時停止尾座的手輪進給，讓刀座與螺絲攻自行向前滑動，圖 (30) 為攻螺紋正常排屑的切削情形，且刀座也能與螺絲攻進行同步的軸向位移。

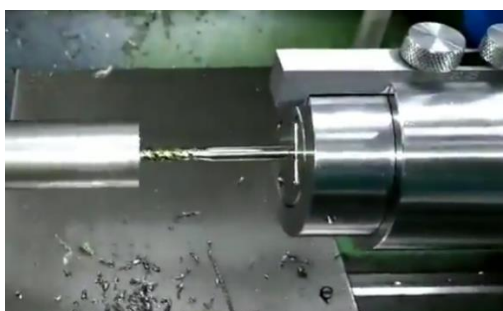


圖 (29)：螺絲攻初始攻牙



圖 (30)：螺絲攻正常切削排屑

(3) 深度測試

內螺紋之加工，並非全都是通孔攻牙，有時為盲孔加工。我們為了觀察其攻牙之切削深度，因此我們在軸向限制滑塊設計了刻度。在其側邊，刻上了 $0\sim 25\text{mm}$ 的刻度，藉此來觀察攻牙的深度。深度切削測試中，我們以盲孔加工深度約 16mm 之螺紋孔進行深度測試。在攻製前可以看到本機構的軸向限制滑塊上的刻度為 0mm ，如圖 (31)；在攻牙攻到底並且打滑之後，刻度來到了 16mm ，如圖 (32)，在攻完之後，我們為了確定工件是否如刻度般，攻牙攻了 16mm 深，因此我們將工件剖半，並進行量測的動作，在量測後證實，工件內部的螺紋如刻度攻到了 16mm ，如圖 (33)。



圖 (31)：刻度為 0mm

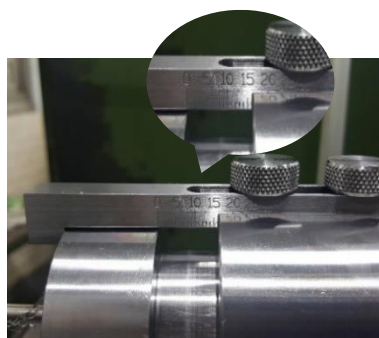


圖 (32)：刻度為 16mm

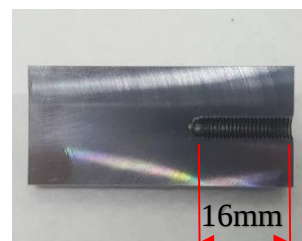


圖 (33)：工件內部

二、過載保護測試

測試螺絲攻在盲孔攻牙時，是否會因為加工至底部時，超過所預設之扭矩值，進而使刀座與主軸同步旋轉，以達到保護螺絲攻的功能。因此我們聘行了盲孔攻牙之測試。測試中可以看到，開始攻牙加工時，止付螺絲的孔位位於上方 A 點，此時為正常切削加工。當螺絲攻攻到盲孔底部時，刀座因受到過大的扭矩超過我們所設定之最大扭矩值而產生打滑之現象。在圖 (34) 中我們可看到，止付螺絲的孔位從 A 點移動至 B 點。因此我們可以知道確實有產生打滑的現象，且使刀座與主軸同步旋轉，避免螺絲攻因承受到過大之扭矩而造成斷裂，成功保護了螺絲攻。

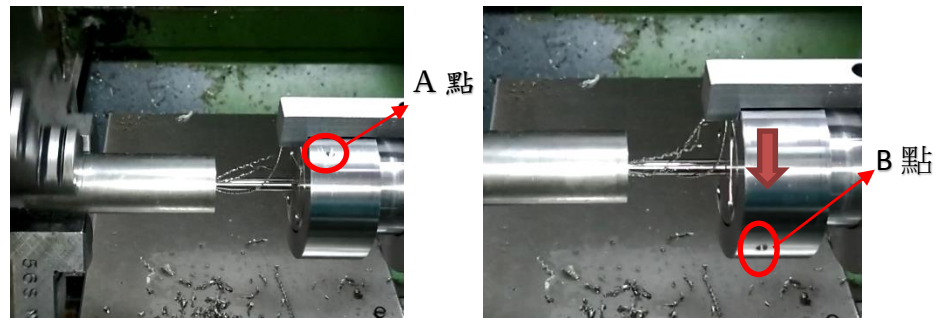


圖 (34): 打滑示意圖

三、過載保護扭矩值範圍

為了瞭解過載保護裝置之設計所能產生之扭矩值範圍，因此我們將扭力調整螺絲刻劃刻度，每一刻度代表其調整螺絲前進或後退的距離，以計算斜度上升或下降的距離為彈簧之壓縮或伸長量。並用扭力板手套在螺絲攻轉接頭上，測試彈簧因壓縮所產生之最大扭矩值。

扭力調整螺絲調整刻度的設計為 10 格，每格代表其所轉之圈數，每圈之位移量為調整螺絲之導程 (即為 0.8mm/格)，前面文獻探討中我們知道調整螺絲每前進或後退 0.8mm，則斜度上升或下降 0.08mm。在測試過程中我們發現每進給兩格 (1.6 mm)，扭矩的變化量較明顯，而在刻完刻度後發現，0 的刻度由於在錐度上，因此沒有刻畫到。所以，我們的初始位置是第二個刻度，所以我們調整螺絲測試之位移量以兩格為一次來做測量；而此項目我們針對調整螺絲每進給兩格後，斜度部分增加的高度對扭矩大小的影響來做探討，而斜度增加的距離即為彈簧之壓縮量，我們將所測試之結果整理成表 (4)：

表 (4): 扭矩調整測試表

項目 \ 調整螺絲旋轉格數	2	4	6	8	10
預期斜度上升的距離 (彈簧壓縮量 mm)	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80
實測扭矩值 (kgf · cm)	12	21	31	41	50

測試過後發現，在第 2 格時即有扭矩之產生，其所測得之扭矩值為 $12 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 。第 4 格時測得扭矩值為 $21 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ，增加了 $9 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ，而在第 4~6 格的測試中，可觀察每增加 2 格其扭矩值等距增加約 $10 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ，而第 8 格到第 10 格這兩階扭矩變化量其扭矩值僅增加 $9 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 。

從數據當中我們可看到在第 2 格時，有 $12 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 之扭矩值產生，可瞭解彈簧一開始壓縮的量可能比預期壓縮量還多或鋼珠與滑槽間有磨擦力之產生因此測得扭矩 $12 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ；在第 4~6 格時，其扭矩值等距增加 $10 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ，可知道彈簧被正常的推擠，且等距的增加彈簧推力及其扭矩值，但在 2~4 格及到第 8~10 格後其扭矩值僅增加 $9 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ，有可能因為彈簧位置有跑掉而造成彈簧壓縮不確實。因此，我們可知道彈簧每壓縮 0.16 mm ，扭矩增加 $10 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ ，從表中也可知道機構其扭矩值可調整之範圍為 $12 \sim 50 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 之間。

四、機構攻牙所能承受的最大轉速

為了提高攻牙之效率，因此，我們藉由提高切削的轉速觀測本機構以 M5 螺絲攻所能承受的最大轉速進行測試。我們使用車床所能調整的轉速作為測試轉數值之設定，如圖 (35)。在前面攻牙測試當中我們以 50 rpm 之轉速條件進行測試且能正常切削。因此我們從 50 rpm 開始測試，並逐漸往上遞增轉速，依序加到 80 、 125 、 250 、 400 rpm ，在測試到 250 rpm 時皆可順利攻牙。但是在 400 rpm 的測試時，螺絲攻雖能正常攻牙，但攻到盲孔底部時，螺絲攻在攻到盲孔底部時便產生了斷裂情形，我們將機構拆解開來時發現，在刀座上有一個很大的傷痕，但是只有一個部位有傷，於是我們便再去觀察本體的內部，發現在放置鋼珠的直槽邊緣產生一個很大的毛邊，因此我們推斷，螺絲攻的斷裂並非機構的過載保護未產生，而是因為機構本身的材料無法承受過載瞬間，鋼珠推擠到本體的直槽邊緣製造出一個毛邊，而毛邊又陷於刀座外徑上，因此造成機構的過載保護裝置卡死，刀座無法旋轉進而造成螺絲攻斷裂，如圖 (36)，因此，我們可以了解 M5 螺絲攻於本機構攻牙時，所能承受之最高轉速為 250 rpm ，並且達到過載保護的效果。



圖 (35)：車床轉速調整



圖 (36)：螺絲攻斷裂

五、彈簧常數的驗證

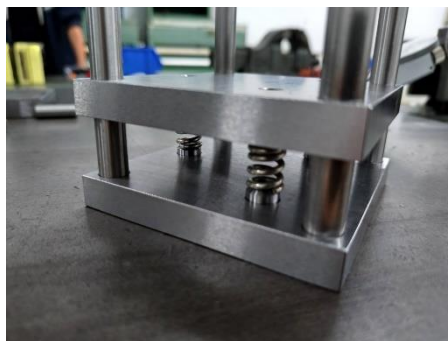
在文獻探討的部分我們藉由式子計算出彈簧常數，因此希望藉由實際測量的方式來進行驗證，為了測試彈簧實際的彈簧常數，我們製做出一個測試台，用兩塊鐵塊製成平板，並在在個角落做出四個鉸孔，搭配 $\phi 8h7$ 之圓銷連接兩平板，以獲得良好量測平面之平行度，如圖（37），並將彈簧裝置於中間，再將重物放置於上方平板，並測得其變化量，再將其帶入虎克定律 $K=P \times \delta$ ，求出其實際彈簧常數，其測試詳細情形如表（5）。

表（5）：彈簧常數數值實際測試表

測試次數 (次)	1	2	3	4	5	6	7
P 彈簧受力 (kg)	1.569	1.976	3.472	5.041	5.448	5.969	7.244
δ 彈簧撓曲 (mm)	0.07	0.09	0.18	0.24	0.25	0.27	0.32
K 彈簧常數 (kg/mm)	7.47	7.31	6.42	7.00	7.26	7.36	7.33

從表中看到有幾次的測量數值差距較大，因此我們取較相近的 5 個值相加並求其平均值，而我們取的 1、2、5、6、7 次來做運算，運算後求得平均值約為 7.35kg/mm。

前面文獻探討所計算的彈簧常數為 7.67kg/mm，而我們實際測量後所測得的彈簧常數大約為 7.35kg/mm，兩者之間有 0.32kg/mm 的誤差，我們推測式彈簧在製作時，彈簧線徑及彈簧纏繞每一個線圈之直徑可能不會完全相同，因此產生一些誤差。



圖（37）：測試台

陸、結論

最後結論我們發現機構成功攻牙並達到過載保護的效果、攻牙內孔異物造成排屑不順、過載保護有效扭矩範圍為 12 ~50kgf · cm 之間、M5 螺絲攻所能承受之最大轉速為 250rpm 以及量測之扭矩與計算之扭矩值僅差 0.52kgf · cm 5 個部分來進行結論說明，其詳細內容如下。

一、機構成功攻牙並達到過載保護的效果

在前面的研究結果測試中，我們採用了 M5 螺絲攻進行測試，從測試結果我們可以知道扭矩值之安全範圍為 $32\sim60\text{kgf}\cdot\text{cm}$ ，機構切削動作測試與切削深度之測試皆能達到所預期之功能。

而在過載保護測試我們以盲孔攻牙進行，並觀察刀座是否因承受過大扭矩與主軸同步旋轉，以達到保護螺絲攻的功能，經測試後確實能發揮其功能。因此，經攻牙的測試後發現，若機構的扭矩值設定小於攻螺紋所須切削扭矩值時便無法攻製，而在攻牙時所產生之扭矩未超過我們所設定的極限扭矩，而能如期完成攻牙的動作，而在攻盲孔時，螺絲攻加工至底部時，會如預期產生打滑並保護到刀具的動作。

二、攻牙內孔異物造成排屑不順

在測試過後發現，攻螺紋時，若鑽完孔內部未清理乾淨便直接進行攻牙的動作的話，螺絲攻會因卡屑，造成排屑不順使螺絲攻卡在工件內部，由此我們知道在攻牙前確保攻牙內孔之清潔是很重要的，內孔若有異物也會造成螺絲攻容易斷裂之現象。在這種情況下，本機構依然可以藉由過載保護使刀座與主軸同步旋轉，來保護螺絲攻。

三、過載保護有效扭矩範圍為約在 $12\sim50\text{kgf}\cdot\text{cm}$ 之間

經測試過後發現，在第 2 格時，有 $12\text{kgf}\cdot\text{cm}$ 之扭矩值產生，可瞭解彈簧一開始壓縮的量可能比預期壓縮量還多或鋼珠與滑槽間有磨擦力之產生因此測得扭矩 $12\text{kgf}\cdot\text{cm}$ ；在第 4~6 格時，其扭矩值等距增加 $10\text{kgf}\cdot\text{cm}$ ，可知道彈簧被正常的推擠，且等距的增加彈簧推力及其扭矩值，但在 2~4 格及到第 8~10 格後其扭矩值僅增加 $9\text{kgf}\cdot\text{cm}$ ，有可能因為彈簧位置有跑掉而造成彈簧壓縮不確實。因此，我們可知道彈簧每壓縮 0.16mm ，扭矩增加 $10\text{kgf}\cdot\text{cm}$ ，從表中也可知道機構其扭矩值可調整之範圍為 $12\sim50\text{kgf}\cdot\text{cm}$ 之間。

四、機構 M5 螺絲攻攻牙所能承受之最大轉速為 250rpm

為了提高攻牙之效率，因此，我們藉由提高切削的轉速觀測本機構以 M5 螺絲攻所能承受的最大轉速進行測試。我們使用車床所能調整的轉速作為測試轉數值之設定，從 50rpm 開始測試，並逐漸往上遞增轉速，在測試到 250rpm 時皆可順利攻牙。但是在 400rpm 的測試時，螺絲攻雖能正常攻牙，但攻到盲孔底部時，因機構本身與鋼珠之推擠產生毛邊，而造成過載保護裝置卡死無法發揮其功能，螺絲攻無法承受攻牙時之瞬間的扭力，而導致螺絲攻斷裂，因此測得本機構在進行 M5 螺絲攻攻牙所能承受之最大轉速為 250rpm。

而在時間上，我們採用 20mm 盲孔的攻螺紋做為我們的測試切削條件。當 50rpm 進行攻牙測試時，從開始到結束所需要花費時間為 1min，而 250rpm 時，從開始到結束所需要花費時間花了不到的 30 秒的時間，因此在效率上的確提升了許多。

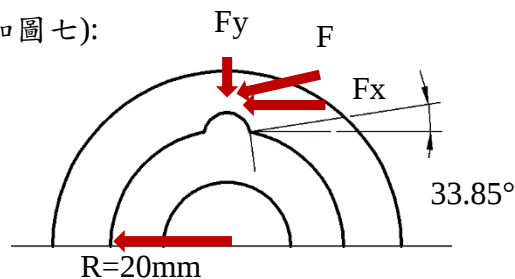
五、量測之扭矩與計算之扭矩值僅差 0.52kgf · cm

我們從測量過載保護扭矩值範圍可知道彈簧每向上擠壓 0.16mm 扭矩值增加 10 kgf · cm，而在 CAD 模擬鋼珠位置找到作用力與接觸點之作用夾角 33.85°，我們利用虎克定律 $F = kx$ 求出 F 的垂直分力 F_y (如圖七):

$$F_y = 7.35 \times 0.16 = 1.176 \text{ kgf}$$

再來利用三角函數求出 F 的水平分力:

$$F_x = \frac{F_y}{\tan 33.85} \doteq 1.753 \text{ kgf}$$



圖(7): F 力與其分力示意圖

接著利用文獻探討所得之扭矩公式 $T = 3F_x \times R$ ，其刀座之最大外徑為 40mm，則旋轉半徑為 20mm，則其扭矩值(T)為:

$$T = 4.48093 \times 1.753 \times 20 \doteq 105.2 \text{ kgf} \cdot \text{mm} = 10.52 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

經過計算後其扭矩值為 10.52kgf · cm 與我們實際量測到的 10kgf · cm 僅差 0.52kgf · cm，因此可證明我們實際量測之彈簧常數與理論計算的值相當接近，其實際量測的扭矩值比計算的扭矩值來的小有可能為零件接觸所產生之摩擦阻力而產生之能量損失。

柒、參考資料

- 柯雲龍、潘建安 (2013)。機件原理 I。台科大圖書。
- 李榮華 (2015)。機件原理 I。龍騰文化。
- 葉倫祝 (2010)。機件原理 I。全華圖書。
- 林鴻儒 (2008)。車床實習 II。台科大圖書。
- 何益川、田潮訓、洪兆亮 (2018)。機械基礎實習。龍騰文化。
- 張宏智、陳順同 (2014)。機械基礎實習。全華圖書。
- 陳海清 (2015)。機械力學 I。全華圖書。
- 陳崇彥 (2015)。機械力學 I。華興文化。
- 蔡俊毅、賴育材、李德福 (2014)。機械製造 II。台科大圖書。
- 張甘棠 (1993)。機工學。三文出版社。
- 王建義 (譯) (2011)。機械設計製圖便覽 (原作者: 大西 清)。全華圖書。
- 陳崇彥 (2015)。機械力學 I。華興文化。
- 百度百科扭力限制器 (2000)。2018 年 1 月，取自
<https://goo.gl/BX64xW>
- 亨盛有限公司產品項目 (1983)。2018 年 1 月，取自
<http://www.hsiang-shen.com.tw/torque>