

# 105 學年度「機電實作專題成果展」構想書

作品中文名稱：拉伸試驗機

作品英文名稱：Tensile Testing Machine

中山大學／機械與機電工程學系／張皓鈞／B023022014

中山大學／機械與機電工程學系／黃昱尹／B023022015

中山大學／機械與機電工程學系／林禹強／B023022050

指導教授：邱源成 教授

主辦單位：國立中山大學機械與機電工程學系

## 一、摘要

一個國家的強盛，工業的發展可謂是支撐的骨架。舉凡工業設計製造，在各方面都豐富我們的日常生活。根據不同的產品用途及需求，需要找到符合我們需求的材料。而材料的特性，並非憑空而來，必須藉由儀器來將它測量出來。而所需的工具，正是拉伸試驗機。拉伸試驗機可完成試樣的拉伸、壓縮、彎曲、剪切等多種力學性能試驗，在金屬、非金屬、複合材料及製品的力學性能試驗方面，具有非常廣闊的應用前景。

## 二、動機與目的

在研讀機械領域相關書籍時，題目常常給定我們相關條件，來讓我們解出問題。但所有的數據從來不是無中生有，我們享受著前輩們的成果，在我們已知的世界裡解決問題，卻沒有邁向未知領域的能力，對工程師而言，這樣是無法進步的。科技日新月異，各類產品推陳出新，在凡事都要求輕薄好攜帶的大環境下，為了滿足客戶需求，就算是傳統產業，也必須大步向前。而拉伸試驗機，就像是我們與未知材料的橋樑，帶著我們去認識它，了解它的性質並將其活用。這勾起我們濃厚的好奇心，想研究這台擔當材料分析的起點，與材料溝通的橋樑，也就是拉伸試驗機。

因此我們決定利用機械設計實務與原理的相關知識作為基礎。從頭設計並製造一台拉伸試驗機，並將此做為專題題目。在這過程中，我們可以瞭解並完成的目的有：

1. 實際演練應力分析，計算應力強度選用適合零件。
2. 各零件的畫圖設計，了解工業製圖規則並實際操演，從中吸收經驗。並用心體會並解決各式隱藏的大小問題。
3. 自行製作或加工部分工件，在過程中更能精進各式大型機器的操作，例如車床、銑床與CNC設計加工等等。
4. 加工完成進入組裝環節，發現問題或改善方案並從中吸取經驗。目標成品是一台可承受500公斤應力的拉伸試驗機，並可投入實際試驗中，達到分析功能。

## 三、研究內容

首先，我們找到了一份 FreeLoader Manual，裡面提供如何以現有可購買的材料自行製作一台以 500 公斤為目標的拉伸試驗機，如下圖：



我們決定以它為範本，在能力範圍內，自行加工所需要的工件，並試著用更低的成本製作出一台拉伸試驗機。

在尋找材料時，我們發現 ACME 螺桿較昂貴也較難尋找，教授建議我們使用一般的 Thread angle 60 度角螺桿就行了，以下為螺桿的公式計算：

Using  $M18 \times 2.5$  thread (thread angel  $2\alpha = 60^\circ$ ) with a major diameter of  $18mm$ , the pitch of  $2.5mm$ , and a mean diameter of  $16.376mm$ .

For the **Torque to raise the load** on a power screw,

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) = \frac{250 \cdot 0.017}{2} \cdot \left( \frac{0.0025 + \pi \cdot 0.4 \cdot 0.017 \cdot \sec \frac{60}{2}}{\pi \cdot 0.017 - 0.4 \cdot 0.0025 \cdot \sec \frac{60}{2}} \right) = 1.105 kg \cdot m$$

and for **lowering the load**,

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m \sec \alpha - l}{\pi d_m + f l \sec \alpha} \right) = \frac{250 \cdot 0.017}{2} \cdot \left( \frac{\pi \cdot 0.4 \cdot 0.017 \cdot \sec \frac{60}{2} - 0.0025}{\pi \cdot 0.017 + 0.4 \cdot 0.0025 \cdot \sec \frac{60}{2}} \right) = 0.8634 kg \cdot m$$

$d_m$  = mean diameter of the screw

$f$  = the coefficient of friction (assume  $f = 0.4$ )

$l$  = lead of the screw

$2\alpha$  = thread angle

The **maximum nominal shear stress**  $\tau$  in torsion of the screw body can be expressed as

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} = \frac{16 \cdot 1.105}{\pi \cdot (0.016376)^3} = 1281471 \frac{kg}{m^2} = 1.2815 MPa$$

The **axial stress**  $\sigma$  in the body of the screw due to load  $F$  is

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_r^2} = \frac{4 \cdot 250 \cdot 9.8}{\pi \cdot (0.016376)^2} = 11632164 Pa = 11.64 MPa$$

**Nominal thread stresses** in power screws can be related to thread parameters as follows.

The **bearing stress**  $\sigma_B$  is

$$\sigma_B = -\frac{2F}{\pi d_m n_t p} = -\frac{2 \cdot 250 \cdot 9.8}{\pi \cdot 0.017 \cdot 18.8 \cdot 0.0025} = -1952088 Pa = -1.952 MPa$$

$n_t$  = the number of engaged threads

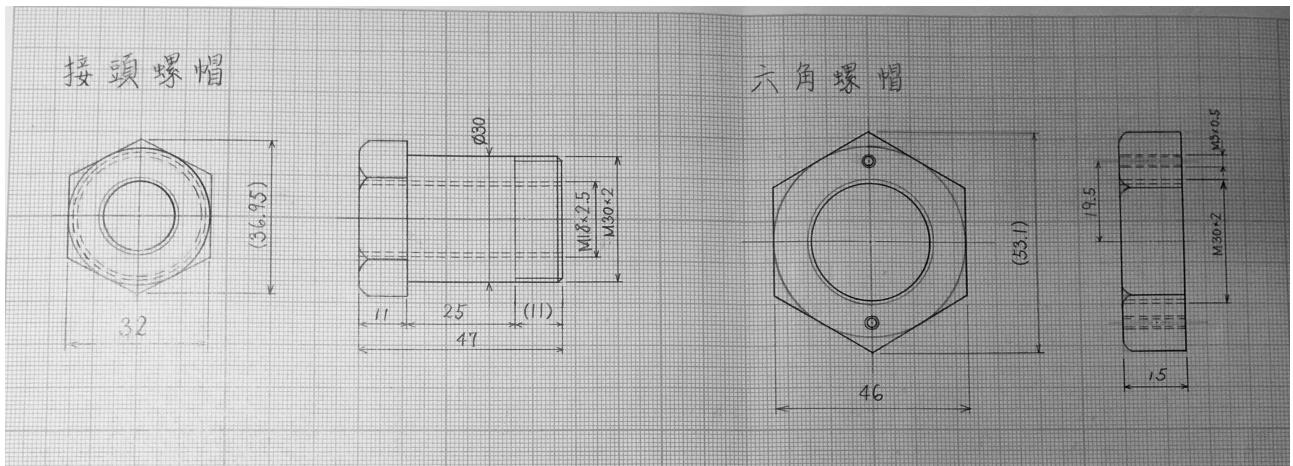
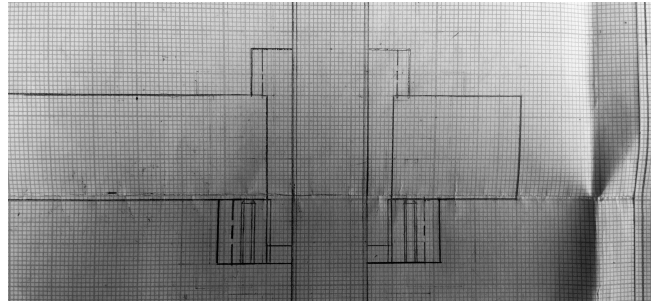
$p$  = pitch

The **bending stress** at the **root of the thread**

$$\sigma_b = \frac{6F}{\pi d_r n_t p} = \frac{6 \cdot 250 \cdot 9.8}{\pi \cdot 0.016376 \cdot 18.8 \cdot 0.0025} = 6079414 Pa = 6.08 MPa$$

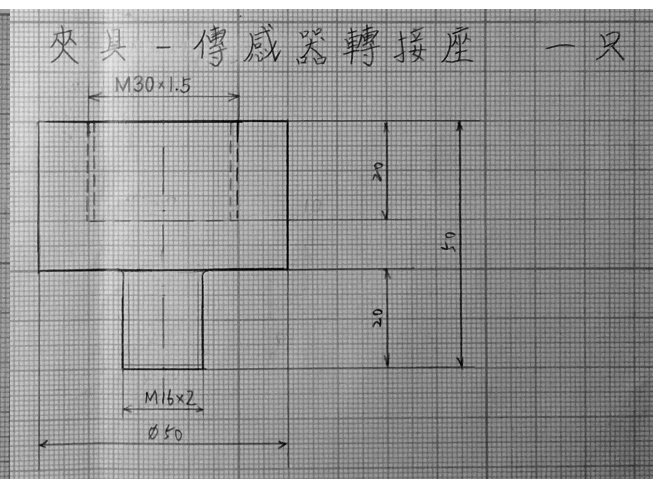
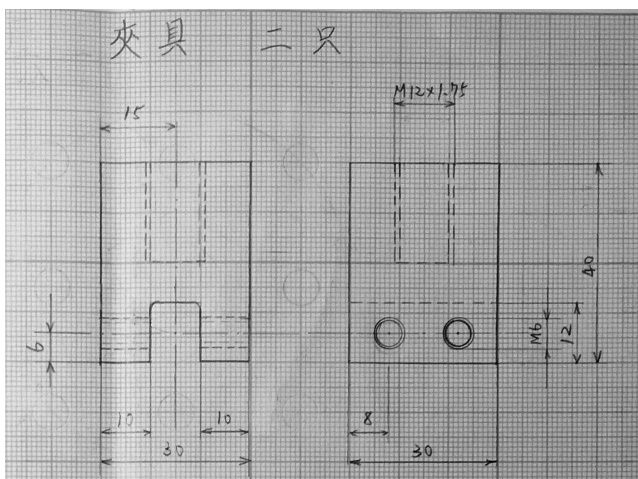
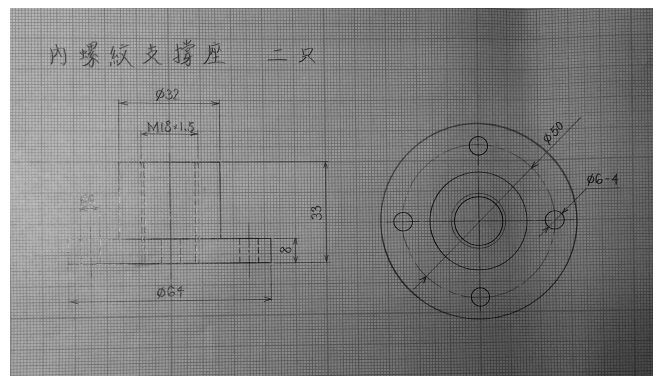
其他桿件所計算出來的應力均在一般市面上的五金材料的應力容許範圍內。

其中較難設計的零件在於使平台在螺桿上進行直線運動的螺母，原本打算直接把螺母鑲進平板之內，再以另一塊金屬板夾著平板，由於六角孔較難加工，若進行放電加工則工時太長，不符合效益，所以更改設計，教授建議以長型的螺帽，接頭螺帽的另一端以更大口徑的螺帽鎖上，以固定螺絲固定螺帽，防止螺帽跟著螺桿轉動。經材料行詢問過後發現「接頭螺帽」最為適合。更改後的設計圖如下圖所示：



後來在尋找規格品時，發現了這個「內螺紋支撐座」，剛好符合我們的需求，在加工組裝上面也比較單純，不過該零件商的規格不太符合我們的長度，所以我們自行參考設計了一個，委託加工。

夾具的部分採用兩顆內六角螺絲固定試片，夾具與傳感器之間加入了球接頭，使試片受力時能讓試片只受到直線方向的力，可是球接頭與傳感器的螺徑不搭配，所以另外製作了轉接頭。



#### 四、結果與討論

根據 FreeLoader Manual 所提供的拉伸試驗機價格比較，一般市面上的拉伸試驗機價格不斐，而自行製作的拉伸試驗機，價格則是減少好幾倍。機器品質絕對會反映在價格上面，自行製作的拉伸試驗機或許限制的條件比較多，但是如果研究經費不足，自行製作一台拉伸試驗機也許會是好的選擇。

| Machine    | Price*<br>(USD)       | Load<br>Capacity<br>(kN) | Load<br>Accuracy<br>(% of max) | Size<br>HxWxD<br>(cm) | Machine<br>Weight<br>(kg) | Vertical<br>Test Space<br>(cm) | Position<br>Resolution<br>(mm) | Max<br>Speed<br>(mm/min) | Min<br>Speed<br>(mm/min) |
|------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| freeLoader | <\$4,000 <sup>†</sup> | 5                        | 0.02%                          | 50 x 31 x 31          | 22                        | 27                             | 0.0005                         | 30                       | 2                        |
| Vendor 1   | ~\$17,000             | 2.5                      | 0.5%                           | 154 x 43 x 52         | 114                       | 124                            | 0.0006                         | 2540                     | 0.005                    |
| Vendor 2   | ~\$18,000             | 22.2                     | 0.1%                           | 152 x 89 x 51         | n/a                       | 70                             | 0.001                          | 51                       | 0.5                      |
| Vendor 3   | ~\$19,000             | 5                        | 0.5%                           | 114 x 49 x 45         | 50                        | 75                             | 0.001                          | 500                      | 0.001                    |
| Vendor 4   | ~\$19,000             | 5                        | 0.5%                           | 126 x 56 x 37         | 50                        | 73                             | 0.001                          | 1000                     | 0.01                     |
| Vendor 5   | ~\$22,000             | 2.5                      | n/a                            | 114 x 55 x 46         | 46                        | 75                             | 0.001                          | 1000                     | 0.1                      |
| Vendor 6   | ~\$25,000             | 5                        | 0.5%                           | 136 x 38 x 50         | 51                        | 112                            | n/a                            | 1000                     | 0.05                     |
| Vendor 7   | ~\$26,000             | 5                        | n/a                            | 114 x 49 x 45         | 50                        | 75                             | 0.001                          | 500                      | 0.001                    |

\*Price includes the machine, load cell, calibration, and control software – it does not include grips

<sup>†</sup>Can perform two simultaneous tests on one machine

#### 五、致謝

本小組並無明顯分配工作界線，採互相支援討論來共同解決各種問題，每個人在各方面皆有貢獻。若要認真考究嚴格細分，林禹強同學負責事售工件選擇以及實際走訪馬達店家調查，張皓鈞同學負責應力分析與動力計算，黃昱尹同學則是負責繪製工程圖，每個人在各自項目上做了較多的努力，但每個項目依然都是小組共同完成。

過程中需特別感謝國立中山大學機械與機電工程學系邱源成教授，教導繪製工程圖、機械設計實務以及各式機械加工製造操作方法，並隨時給予我們專業指導。另外還有銘鴻行馬達專賣店，提供我們符合需求的馬達等相關硬體設備，並不厭其煩提供事售馬達相關資訊給予我們諮詢，在此特別感謝。

#### 六、參考資料

1. Shigley's Mechanical Engineering Design Richard G.Budynas, J.Keith Nisber
2. 機械製造實驗 邱源成 教授編
3. 機械設計製圖 陳朝光、王明庸、黃泰翔主編
4. 機械設計實務 邱源成 教授編
5. FreeLoader: An Open Source Universal Testing Machine for High-Throughput Experimentation