

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高職組 機械科

最佳(鄉土)教材獎

090904

造反有理 力的量測

學校名稱：國立嘉義高級工業職業學校

作者： 職二 吳份儒 職二 李冠霖 職二 黃政洳	指導老師： 羅文毅 陳海清
---	-----------------------------

關鍵詞：二力構件、荷重元、光編碼器

摘要

本作品參考 97 年統測機械類專業一第 28 題，題意為三桿結構件承受一外力形成靜力平衡時，在忽略桿重情況下，求二力構件反力大小，根據此一目標我們希望設計一力的量測機構同時可以測量到力的大小及方向。

在機構的設計方面以壓力型荷重元(Load Cell)為基礎，以銷接接頭裝置於二力構件之一端，搭配一蝸桿蝸輪組的減速機構，以手輪慢慢微調，使能調整荷重元的量測方向，並將力的大小顯示於荷重顯示器上。

選擇可程式邏輯控制器(PLC)作為角度轉換運算的平台，接收光編碼器(Encoder) A、B 相輸出脈波信號至 PLC 內部之高速計數器 C251，經由 PLC 運算，將脈波數轉換成角度值顯示七段顯示器上。

透過我們設計的反力量測機構能精確地測量出加計桿重的情形下二力構件的反力大小及方向的變化情形，讓抽象的力得以變的平易近人。

壹、研究動機

機械力學是四技二專統測機械類專業一的科目，著重理解與計算，剛開始接觸時有點不習慣，慢慢地由基本定理可以明瞭一些物理現象的原理，藉由力學來描述我們所接觸的世界的各種現象，在第二章談到靜力平衡時，老師告訴我們元件不移動而平衡，勢必有反力存在；元件不轉動而平衡，勢必有反力矩存在，反力的大小和方向不一定跟外力或桿件一致，這對我們來講是抽象的，於是我們就參考歷屆試題想要製作力的量測裝置，來協助我們對於力有更深一層的認識，希望將抽象的力具體化，並據以實踐在機械科所學的各项專業能力。

貳、研究目的

在機械領域裡常常需要測量力的大小，舉凡機械元件承受外力而呈現靜力平衡的狀態時，必定有反力存在，這個反力傳遞至元件內部而有內力存在，根據內力大小求得內應力大小，以提供設計機械元件的依據，由靜力平衡理論探討結構件反力情形，希望設計出一個量測機構，協助我們探討力在機械元件上所產生的影響，並且證明力的方向是可以測量出來的。

參、研究設備及器材

一、研究使用設備

- (一) 銑床
- (二) 車床
- (三) 鋸床
- (四) 鑽床
- (五) Load Cell 及顯示器
- (六) PLC 可程式邏輯控制器
- (七) 4 位數七段顯示器
- (八) 刀具及手工具
- (九) 量測儀器

二、使用材料

項次	材料名稱	規格	備註
1	桿件	鋁合金，依加工尺寸	
2	軸及聯軸器	黃銅，依加工尺寸	
3	砵碼	黃銅，依加工尺寸	
4	蝸桿及蝸輪	舊零件拆下，碳鋼及工程塑膠	
5	手輪	鋁合金，依加工尺寸	
6	交換式電源供應器	24V	
7	按鈕開關	Φ30，1a1b	
8	選擇開關	Φ30，1a1b	
9	端子	Y1.25-3	
10	端子臺	10A	
11	PVC 電線	0.75mm ² 絞線	
12	線槽	依裝配尺寸	
13	內六角螺絲	M5、M6	
14	銷	Φ5	

肆、研究過程與方法

一、構想與資料收集

(一) 決定研究對象：在研究的過程中首先決定以 97 年統測機械類專業一第 28 題的三桿結構構件為研究標的，如圖 4-1-1(A)所示，為三力構件及二力構件所組成之結構件。

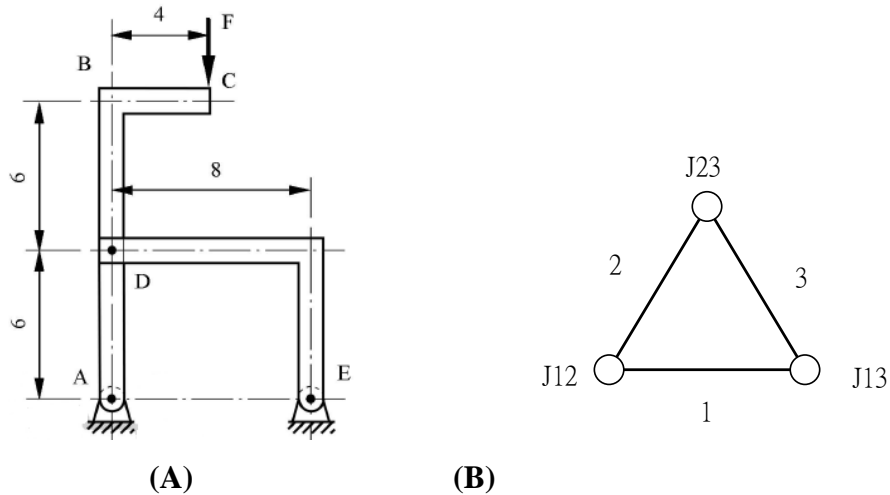


圖 4-1-1 (A)三桿結構件 (B)運動鏈

(二) 機件自由度分析

1. 將機件簡化成運動鏈：簡化規則為將所有元件以**連桿方式表示**，接頭對偶以旋轉對表示，並且依照機構簡圖各桿件之對應關係繪成 4-1-1(B)

2. 平面機構運動鏈之自由度判定公式： $DOF = 3(N - 1) - 2P$ (1)

其中 N 為連桿數， P 為接頭對偶數

$$N = 3$$

$$P = 3$$

$$DOF = 3(N - 1) - 2P = 3(3 - 1) - 2 \times 3 = 6 - 6 = 0$$

由上可知自由度 $DOF=0$ 則此三連桿稱為呆鏈或稱結構。

(三) 靜力平衡分析

由圖 4-1-2 自由體圖分析，當三力構件 ABC 桿承受外力 F 時 DE 桿為二力構件，故 R_D 之反力的力作用線通過 D 點及 E 點，與水平夾角 θ ，由力矩平衡

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0, \quad (+) \\ R_D \cos \theta \times 6 - F \times 4 &= 0 \\ \Rightarrow R_D &= \frac{2F}{3 \cos \theta} = R_E \end{aligned} \quad (2)$$

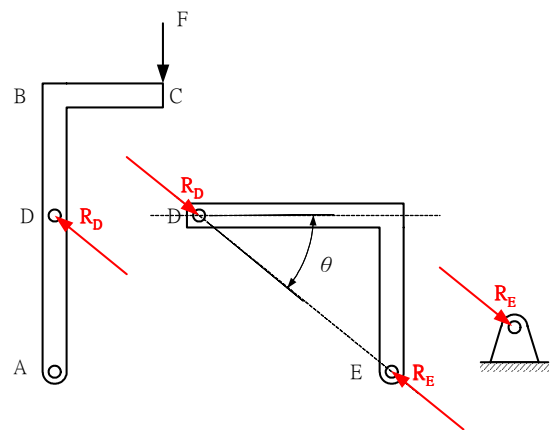


圖 4-1-2 結構件自由體圖

(四) 修改研究對象之尺寸

1. 修改尺寸如圖 4-1-3
2. 變更後之 RE 反力為公式(3)

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0, \quad \curvearrowright \\ R_D \cos \theta \times 20 - F \times 10 &= 0 \\ \Rightarrow R_D &= \frac{F}{2 \cos \theta} = R_E\end{aligned}$$

(3)

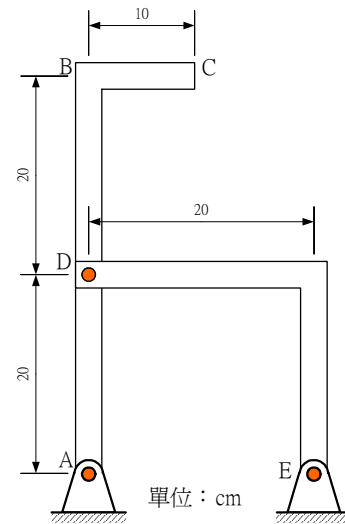


圖 4-1-3 修正後之桿件尺寸

(五) 選擇力之感測器

力感測器(Force sensor)所應用的原理主要是利用壓電效應(Piezoelectric effects)、壓阻效應(Piezoresistive effects)及電容效應，而依照作動方式不同區分為以下幾個類型包括應變計式、電容式、磁阻式(LVDT)、及壓電式，均具有力量訊號轉換電的訊號(電壓或電流)。初步選擇應變計式的 Load Cell(荷重元)，Load Cell 感測器選用規則如下

1. 受力方式：分為壓力式(Compression)、張力式(Tension)、及剪力式(Shear)。
2. 安裝型式：樑型(Beam)、環型(Ring)、銷型(Pin)、鉤環型(Shackle)，如圖 4-1-4 所示。
3. 額定力量：依測量需求而定。
4. 訊號之輸出：將力的訊號轉換為電壓或電流的訊號。

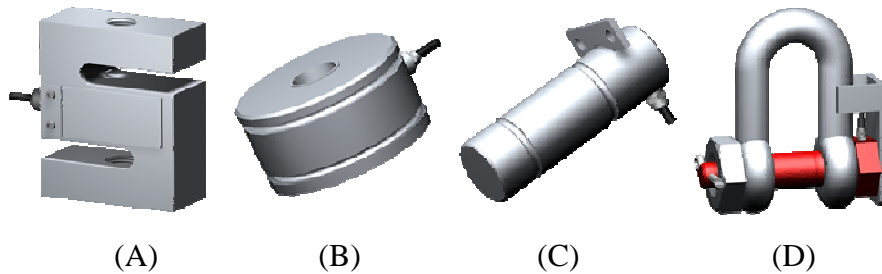


圖 4-1-4 各種型式荷重元 (A)樑型 (B)環型 (C)銷型 (D)鉤環型

(六) Load Cell 及其顯示器的基本電路

1. 應變規荷重元使用應變規(Strain gage)陣列，以惠斯登電橋(Wheatstone bridge)的方式橋接，如圖 4-1-5 所示，用來量測結構材 (Structural member) 的變形程度，當應變發生時，因為電阻值發生變化，使得兩側電阻分壓不同因而產生輸出電壓 V_o

$$V_o = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \cdot E_x \quad (4)$$

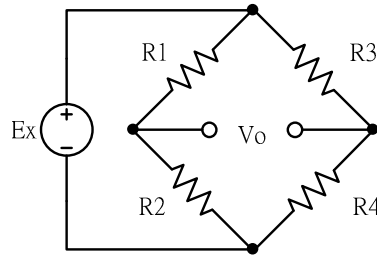


圖 4-1-5 應變規之惠斯登電橋

2. 顯示器基本電路架構如圖 4-1-6 所示

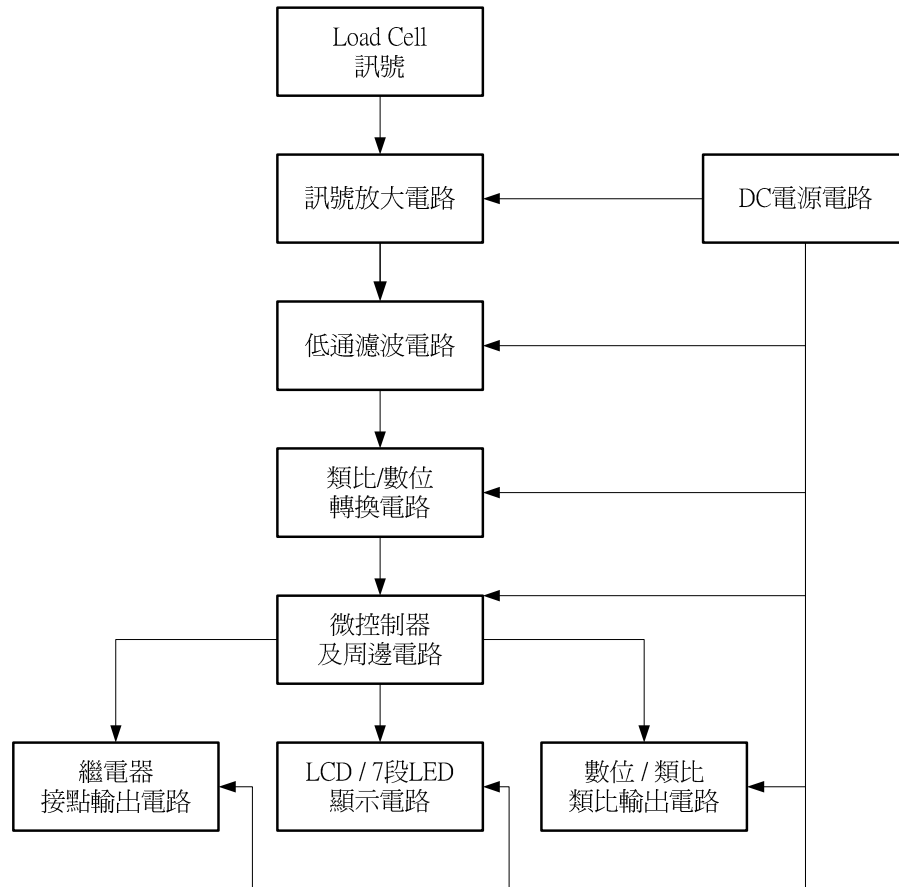
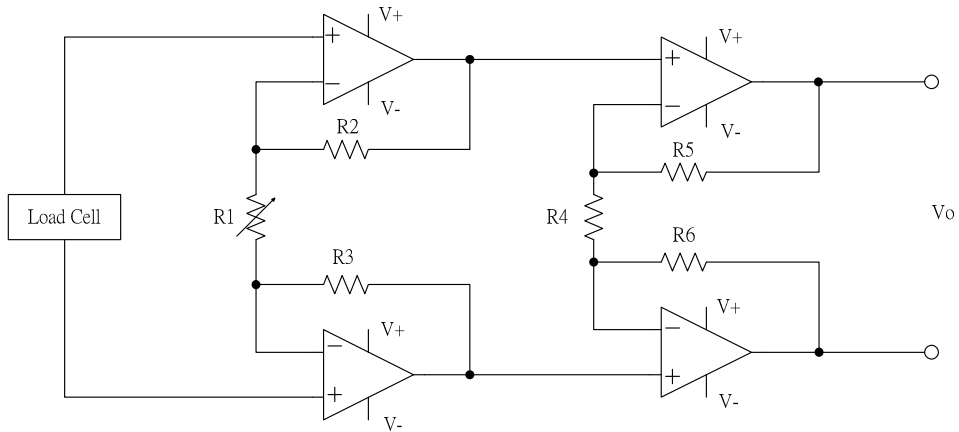


圖 4-1-6 荷重元顯示器基本電路架構

3. 主要電路的電路 Pattern

(1) 訊號放大電路：雙級儀器放大器電路



4-1-7 雙級儀器放大器電路

$$\text{電壓增益 } A_v = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{2R_5}{R_4}\right) \quad (5)$$

(2) 低通濾波電路：濾除高頻雜訊，高頻雜訊遠大於截止頻率，因此雜訊得以迅速衰減，以確保測量訊號不失真。

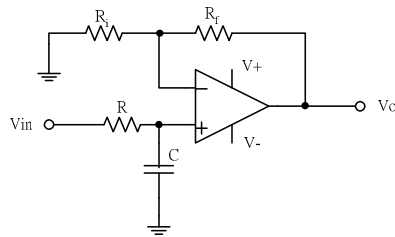


圖 4-1-8 低通濾波電路

$$\text{電壓增益 } A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (6)$$

$$\text{截止頻率 } f_{OH} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (7)$$

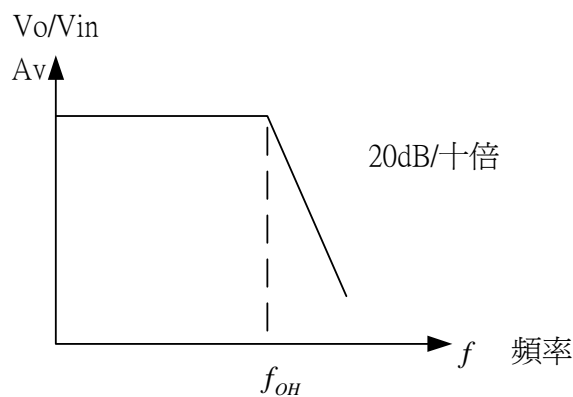


圖 4-1-9 低通濾波電路

(3)類比/數位轉換電路

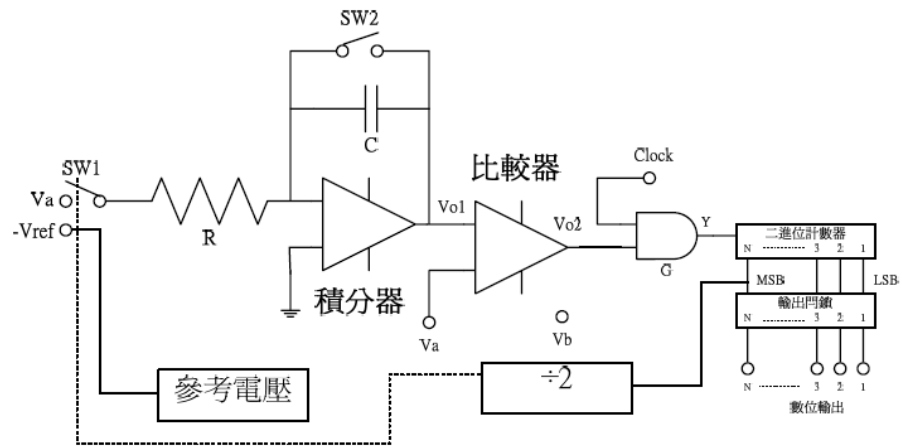
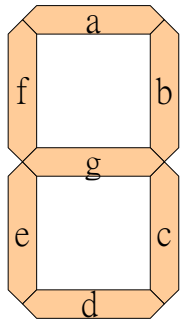


圖 4-1-10 雙斜率積分型 ADC

(4)七段顯示器模組編碼及顯示字型和基本解碼電路

表一 七段顯示器編碼顯示字型

數值		七段顯示器	0(暗) 1(亮)							顯示字型
十六進制	二進制		a	b	c	d	e	f	g	
0	0000		1	1	1	1	1	1	0	0
1	0001		0	1	1	0	0	0	0	1
2	0010		1	1	0	1	1	0	1	2
3	0011		1	1	1	1	0	0	1	3
4	0100		0	1	1	0	0	1	1	4
5	0101		1	0	1	1	0	1	1	5
6	0110		1	0	1	1	1	1	1	6
7	0111		1	1	1	0	0	0	0	7
8	1000		1	1	1	1	1	1	1	8
9	1001		1	1	1	1	0	1	1	9
A	1010		0	0	0	1	0	0	0	A
B	1011		1	0	0	1	1	1	1	B
C	1100		0	1	1	0	1	1	1	C
D	1101		0	0	0	1	1	0	1	D
E	1110		0	0	0	1	1	1	1	E
F	1111		0	0	0	0	0	0	0	F

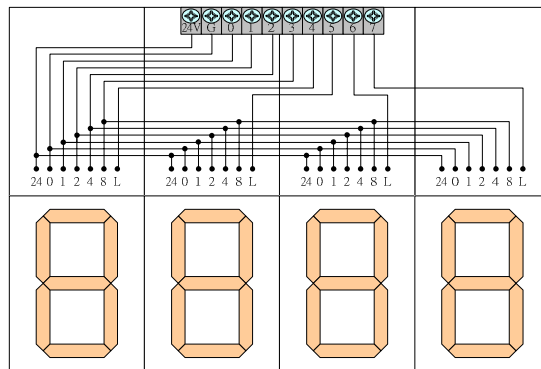


圖 4-1-11 四位數七段顯示器模組

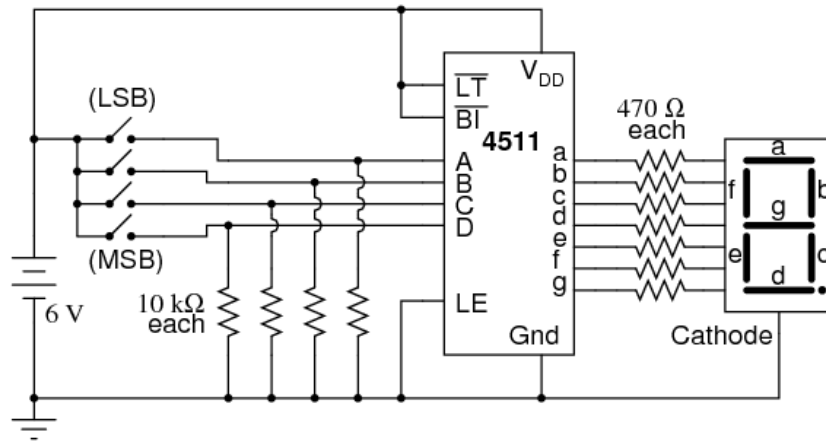


圖 4-1-12 以指撥開關控制之共陰極七段顯示解碼電路

4. 三菱可程式邏輯控制器 FX2N

可程式邏輯控制器(PLC)穩定性高、價格便宜，具有容易撰寫程式及擴充功能齊全，工業上設備的控制系統常常使用 PLC 控制器。

(1)外觀

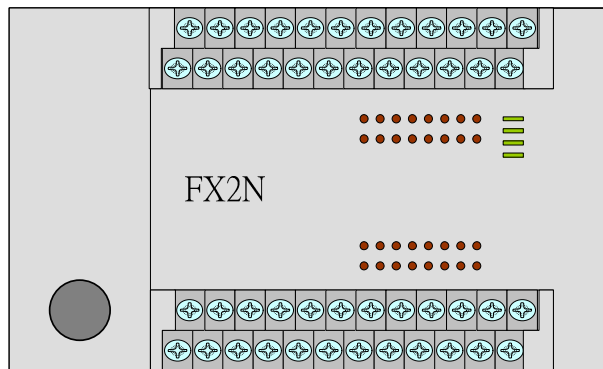


圖 4-1-13 FX2N-32MR 之外形

(2)內部元件表

表一 FX2N-32MR 元件表

項目	規格	
程 式 記 憶 容 量	最大記憶容量	16K 位置
	出廠記憶容量	8K 位置 RAM
	記憶卡匣	RAM 8K/16K，EEPROM 4/8/16K，EPROM 8/16K
指 令 種 類	基本指令	基本指令 27 個，步進階梯指令 2 個
	應用指令	應用指令 128 個
運 算 速 度	基本指令	0.08μs
	應用指令	1.52μs ~ 數 100μs
I/O 點數	最大輸入點	X000 ~ X016 共 16 個(光耦合絕緣)
	最大輸出點	Y000 ~ Y016 共 16 個(繼電器)
內 部 輔 助 繼 電 器 M	一般用 ※1	M000 ~ M499 共 500 個
	停電保持用 ※2	M500 ~ M1023 共 524 個
	停電保持用 ※3	M1024 ~ M3071 共 2048 個
	特殊用	M8000 ~ M8255 共 156 個

計時器 T	時間單位 100ms	T0 ~ T199	共 200 個(0.1 ~ 3276.7 秒)
	時間單位 10ms	T200 ~ T245	共 46 個(0.01 ~ 327.67 秒)
	計時單位 1ms 累計型	T246 ~ T249	共 4 個(0.001 ~ 32.767 秒)
	計時單位 100ms 累計型	T250 ~ T255	共 6 個(0.1 ~ 3276.7 秒)
計數器 C	一般用 16 位元加算 ※1	C0 ~ C99	共 100 個(0 ~ 32767 次)
	停電用 16 位元加算 ※2	C100 ~ C199	共 100 個(0 ~ 32767 次)
	一般用 30 位元加減算 ※1	C200 ~ C219	(-2147483648 ~ +2147483648 次)
	停電用 32 位元加減算 ※2	C220 ~ C234	(-2147483648 ~ +2147483648 次)
	32 位元高速加減算 ※2	C235 ~ C255	共 21 個
狀態繼電器 S	程式開頭用	S0 ~ S9	共 10 個
	一般用 ※1	S10 ~ S199	共 490 個
	停電保持用 ※2	S00 ~ S899	共 400 個
	警報用	S900 ~ S999	共 100 個
資料暫存器 D	16 位元一般用 ※1	D0 ~ D199	共 200 個
	16 位元停電保持用 ※2	D200 ~ D511	共 312 個
	16 位元停電保持用 ※3	D512 ~ D7999	共 7488 個
	16 位元特殊用	(D1000 以後以 500 個為一個單位)	
	16 位元元件接指定用	D8000 ~ D8195	共 106 個
		V0 ~ V7, Z0 ~ Z7	共 16 個
指標	CJ、CALL 指標用	P0 ~ P127	共 128 個
	外部中斷指標用	I00 ~ I50□	共 128 個
	定時中斷指標用	I60□ ~ I80□	共 128 個
	計數器中斷指標用	I010 ~ I060	共 128 個
常數	10 進位(K)	16 位元：-32767 ~ +32767	
	16 進位(H)	32 位元：-2147483648 ~ +2147483647	
		16 位元：0 ~ FFFFH	
		32 位元：0 ~ FFFFFFFFH	
巢狀	MC、MCR 指令用	N0 ~ N7	共 8 個

註：※1 可使用參數設定變更成停電保持用。※2 可使用參數設定變成一般用。 ※3 停電保持專用，不可使用參數變更設定。

(3)程式撰寫方式：使用一般階梯圖、步進階梯圖、程式指令或程式流程圖皆可。

5. 光編碼器(Encoder)：採用增量型光編碼器，解析度為 1200 pulses/rev，具 A、B 兩相輸出，如圖 4-1-14，若 A 相信號領先 B 相信號則 C251 高速計數器值加算；反之，若 B 相信號領先 A 相信號則 C251 高速計數器值減算。

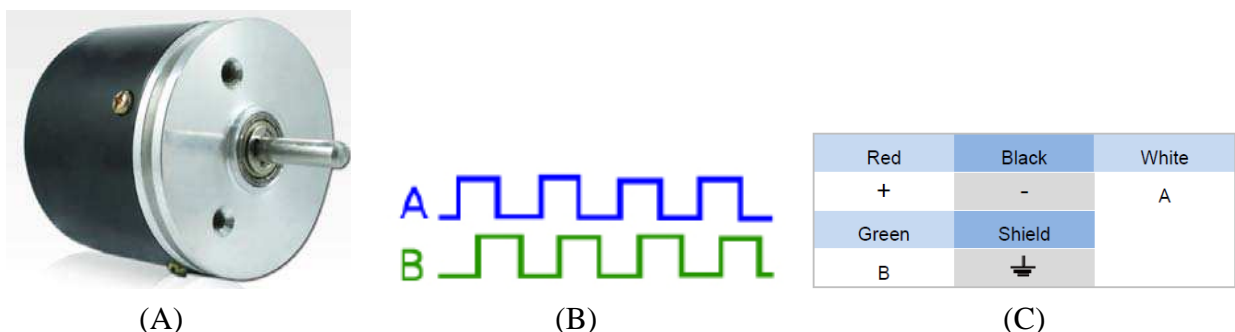


圖 4-1-14 光編碼器 (A)外形 (B)兩相信號 (C)接線方式

二、量測系統的建立

(一) 荷重元：量測端裝置於二力構件 E 點的銷接的座上測量，我們選用樑式壓力型 Load Cell，額定負荷 12kgf，如圖 4-2-1，由表二 Load Cell 規格表可知最大激勵電壓為 15V，輸出靈敏度為 2mV/V，將輸出訊號連接至顯示器表頭，透過適當校正程序可獲得準確的反力值。

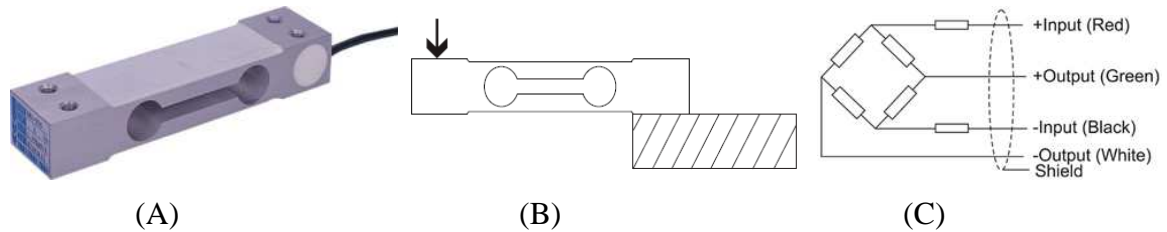


圖 4-2-1 選用之 Load Cell (A)外形 (B)安裝方式 (C)接線圖

表二 LSU-BA12 Load Cell 規格表

額定載荷 Maximum capacity	12kgf
彈性體材質 Material	Aluminum
推薦激勵電壓 Recommended excitation	10V
最大激勵電壓 Maximum excitation	15V
輸出靈敏值(Ro) Rated output	$2 \pm 0.05 \text{ mV/V}$
零點範圍 Zero balance	$\pm 0.030\% \text{ Ro}$
蠕變(20min) Creep error	$\pm 0.025\% \text{ RO}$
重復性 repeatability	$\pm 0.02\% \text{ RO}$
輸入阻抗 Input resistance	$394 \pm 3 \Omega$
輸出阻抗 Output resistance	$350 \pm 3 \Omega$
溫度補償範圍 Compensated temperature range	10 ~ 40°C
允許使用溫度範圍 Operating temperature range	20 ~ 60°C
溫度對輸出靈敏度影響 Temperature effect on output	0.02%Load/10°C
溫度對零點輸出的影響 Temperature effect on zero	0.02%RO/10°C
安全過載範圍 Safe load limit	150%of rat. cap.
極限過載範圍 Ultimate load	200%of rat. cap
密封 Sealing	Potted
防護等級 Protection class	IP 66
最大秤盤尺寸 Maximum platform plate	380 X 380 mm

(二) 顯示器校正

- 選用之 Load Cell 顯示器 CONCH VU3-52KLC 的規格如表三，外型如圖 4-2-2(A) 所示，顯示器的激勵電壓(Excitation voltage)為 12V，類比輸出訊號為工業控制標準電壓 0V~10V，同時具有兩組繼電器接點輸出。

表三 顯示器規格

輸入訊號	適用於 Load Cell 差動訊號輸入
電源：	AC110V/220V ±10% ， 60/50Hz
消耗功率	8VA MAX
顯示範圍	-19999~19999
控制信號	(端子 11、12) NPN 輸入
設定範圍	-19999~19999
輔助電壓	±12v ， 80mA MAX
工作溫度	-10 to 50°C with no icing
儲存溫度	-25 to 65°C with no icing
相對濕度	35% to 85% RH

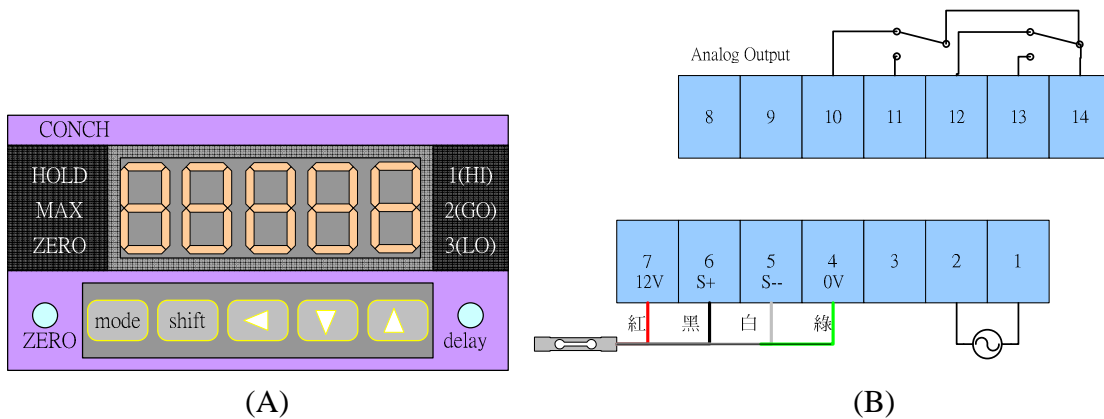


圖 4-2-2 CONCH VU3-52KLC (A)外型 (B)接點圖

- 重量校正操作：使用自行車製的黃銅 500gw 砝碼，按照操作說明書程序進行以下程序：
 - 設定取樣平均次數(avg)：頻率數值(0~99)，設定值越大現在值越穩定，但顯示更新率越慢，設定值 50。
 - 設定小數點位置(pot)：改變現在值的小數點位置(與顯示值有關，但與精度無關)，設定值 1。
 - 現在值教導設定(TEACH)
 - In-1：設定輸入訊號初始點為空載量測值
 - Ds-1：設定顯示值初始點，設定為 0000.0
 - In-2：設定輸入訊號末點，3000gw 砝碼訊號量測值
 - Ds-2：設定顯示值末點，設定為 0300.0，及每個單位值為 10gw

(三) 機構之設計

1. 機構設計之方向

- (1) 能量測反力的大小
- (2) 需設計角度調整機構
- (3) 能顯示反力角度值

2. 設計銷接座微調機構：由鋁合金桿材尺寸的限制，L 型構件必須分成兩段併裝，ABC 三力構件及 DE 二力構件以隼接方式分段接合，以減少因為機構剛性不足造成量測訊號不正確的情形，結構件在組裝時應配合指示量表確保各桿件的水平及垂直度，以期縮小組裝誤差，設計時以荷重元量測端為基準，因應 ABC 桿微調需要，A 點銷接座要設計微調機構如圖 4-2-3 所示：

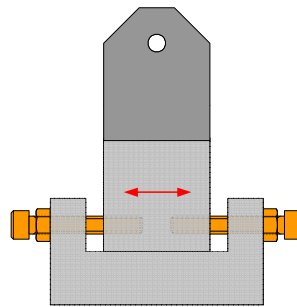


圖 4-2-3 銷接座微調機構

3. 角度調整機構的設計

在荷重元固定端裝置 L 型轉架，並鎖定於轉動軸上，另端連接由蝸桿及蝸輪減速機構組成之分度調整機構，設計配合壓花手輪方便手動調整，蝸桿及蝸輪組減速比 1/60，即荷重元擺動 90° 蝸輪應轉動 1/4 圈，連接蝸桿的手輪轉動 15 轉，光編碼器產生 300 個訊號，量測角度轉換公式如下：

$$\theta = S_n \times \frac{360}{1200} \quad S_n \text{ 為光編碼器訊號數} \quad (8)$$

量測角度調整機構設計如圖 4-2-4，由二力構件尺寸知反力角度應接近 45°，圖 4-2-5 為模擬荷重元量測角度(與水平夾角)。

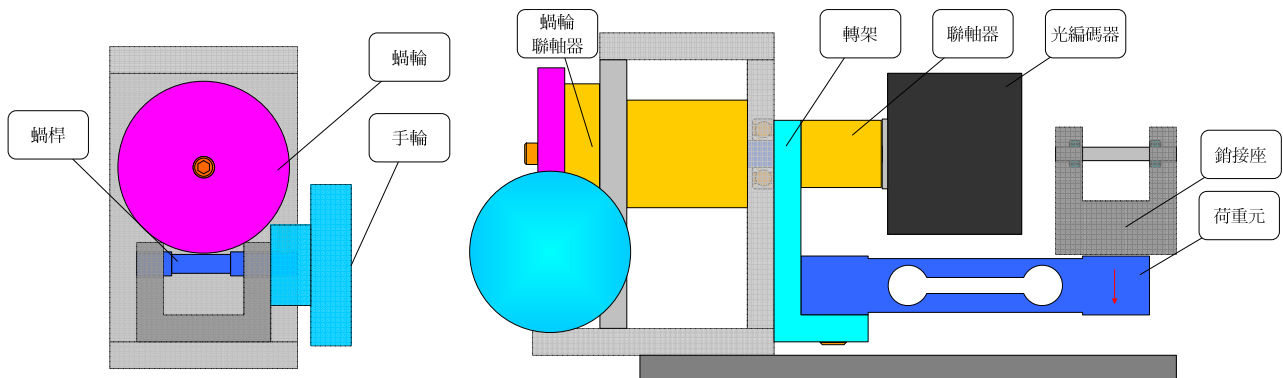


圖 4-2-4 角度調整機構

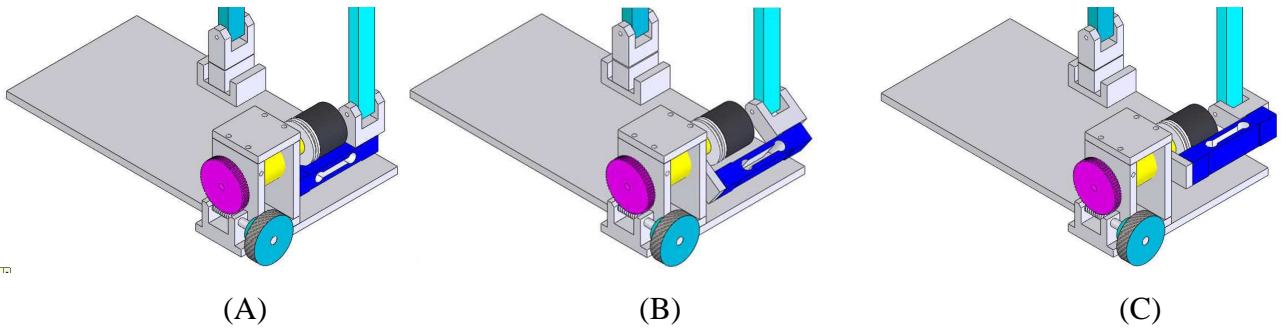


圖 4-2-5 圖面模擬荷重元量測角度 (A) 90° (B)45° (C)0°

4. 量測裝置機構設計圖

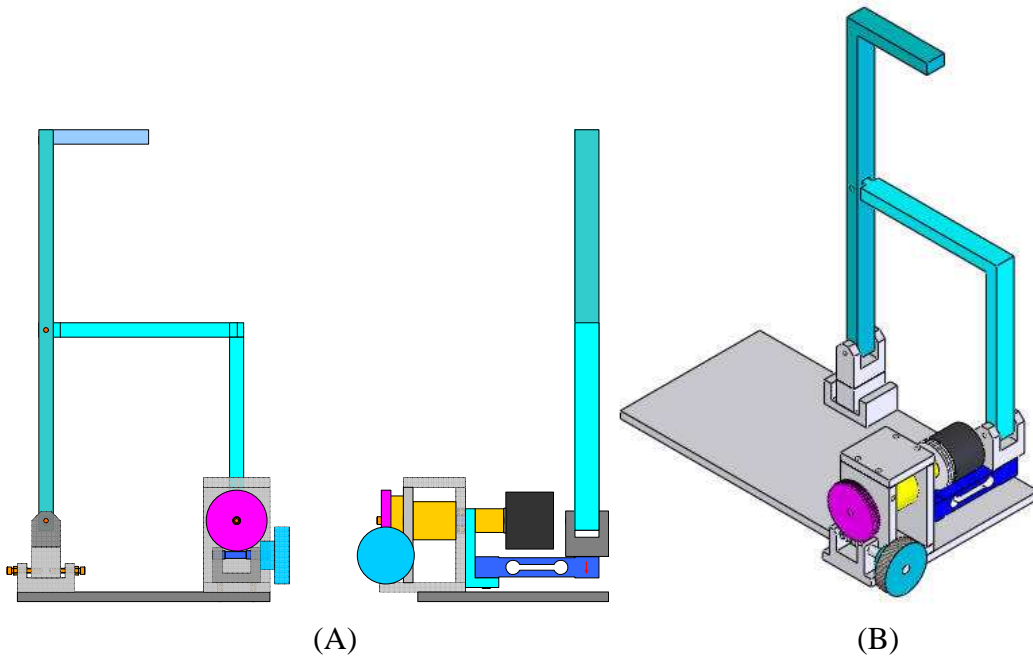


圖 4-2-6 量測裝置機構設計圖 (A) 2D 設計圖 (B) 3D 設計圖

(四) PLC 控制器之規劃

1. PLC 的 X0 連接光編碼器 A 相輸出信號，X1 連接 B 相輸出信號，X2 定為角度重置鈕 PB；輸出則連接七段顯示器將編碼器信號轉換為角度值(顯示至小數點下一位)。
2. I/O 輸入及輸出點規劃如表四

表四 輸入及輸出點規劃

輸入點	內容	備註
X0	光編碼器 A 相信號	
X1	光編碼器 B 相信號	
X2	角度重置鈕 PB	
輸出點	內容	備註
Y0	bit0	
Y1	bit1	
Y2	bit2	
Y3	bit3	
Y4	千位數門鎖 Latch	
Y5	百位數門鎖 Latch	
Y6	拾位數門鎖 Latch	
Y7	個位數門鎖 Latch	

3. I/O 配線圖

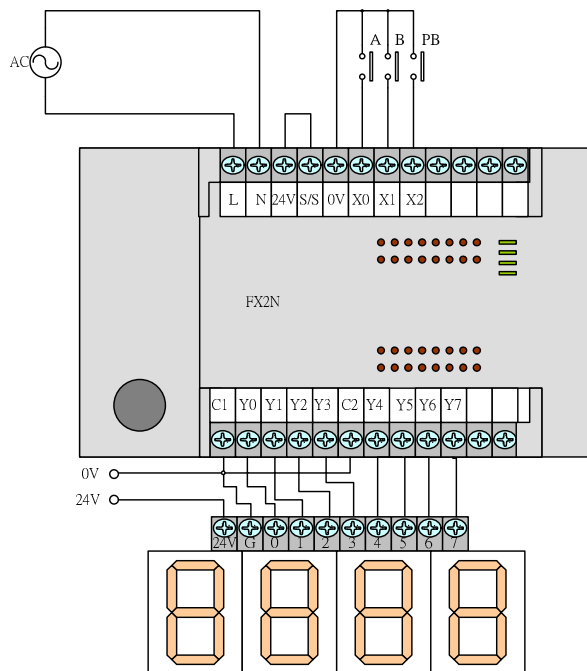


圖 4-2-7 PLC 配線圖

4. 反力方向的顯示

利用三菱火狐狸可程式邏輯控制器 PLC 中 32 位元之高速計數器如表五，選擇具有雙相兩個計數輸入端的高速計數器 C251，讀取光編碼器信號值，光編碼器轉一圈輸出 1200Pulses，即每一個信號 0.3 度，PLC 以七段顯示器顯示角度的方式如下：

- (1) 信號值乘以 3。
- (2) 再除以 10 得到商數及餘數。
- (3) 商數乘以 10 加上餘數得出顯示值，則可顯示至小數點下一位。
- (4) PLC 程式階梯圖如圖 4-2-8。

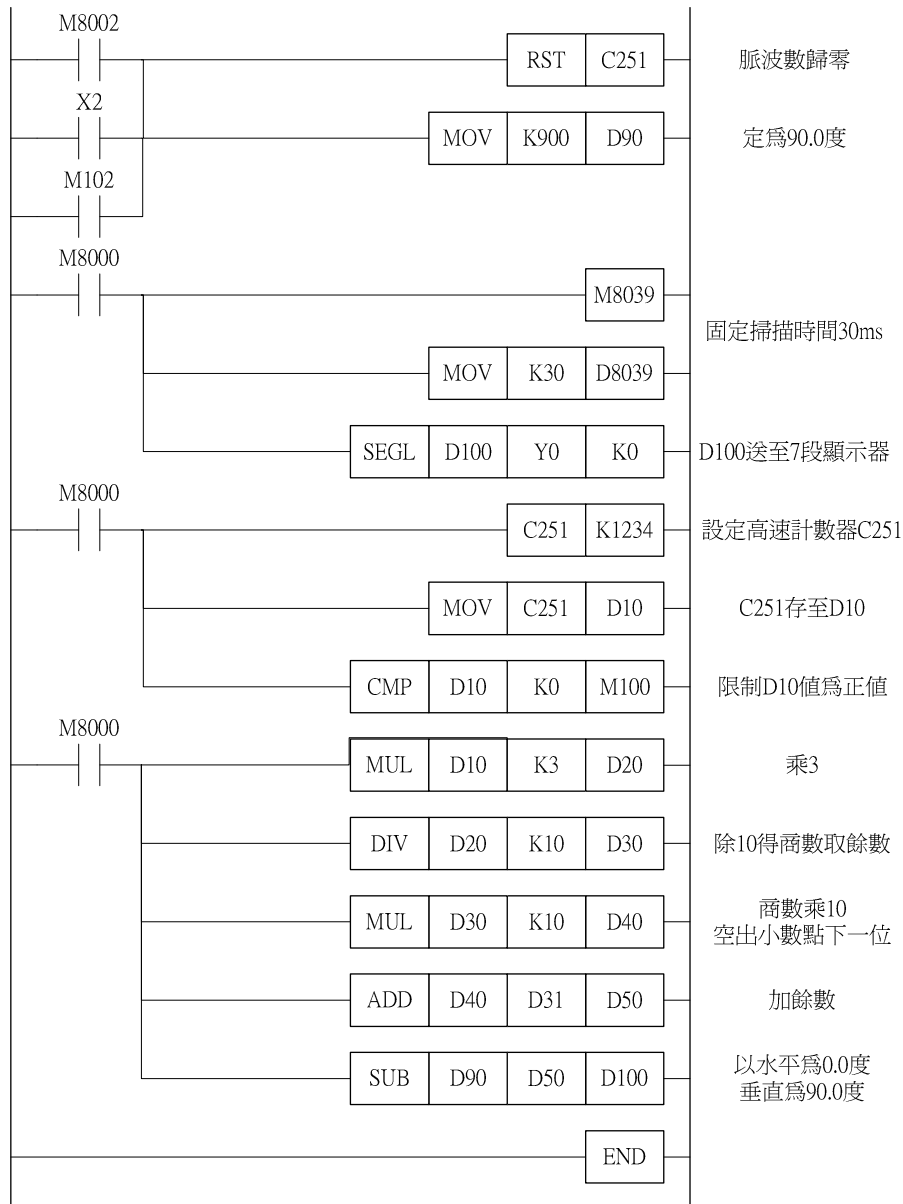


圖 4-2-8 程式階梯圖

表五 高速計數器輸入信號關係表

中斷輸入	單相 / 2 個計數端					雙相 / 2 個計數端				
	C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
X0	U	U		U		A	A		A	
X1	D	D		D		B	B		B	
X2		R		R			R		R	
X3			U					A		A
X4			D		U			B		B
X5			R		D			R		R
X6				S	R				S	
X7					S					S
U：加算 D：減算 A：A 相信號 B：B 相信號 R：復歸信號 S：啓動信號										

三、 反力理論值推估及量測誤差估計

(一) 不施加負荷情況下二力構件桿重對 R_E 的負荷的影響理論值公式為

1. 僅考慮二力構件橫桿及直桿重量

$$W_{L2} = \frac{W_{L2H}}{2} + W_{L2V} \quad (9)$$

其中 W_{L2H} 為二力構件橫桿重量； W_{L2V} 為二力構件直桿重量；
 W_{L2} 為二力構件 E 點測量重量

2. 加入實驗砝碼之公式為

$$R_E = \frac{G}{2} + W_{L2} \quad (10)$$

其中 G 為砝碼重量，置於二力構件橫桿中點

(二) 施加負荷且不計二力構件桿重， R_E 反力理論值大小及方向為

$$\text{反力大小 } R_E = \frac{F}{2\cos\theta} \quad (11)$$

$$\text{反力方向 } \theta = \frac{\pi}{4}$$

F 為負荷值，以砝碼重量施加

(三) 施加負荷加計二力構件後桿重 R_E 反力理論值大小及方向修正公式為

$$\begin{aligned} \text{反力大小 } R_E &= \sqrt{\left(\frac{F}{2\cos\theta} \cos\theta\right)^2 + \left(\frac{F}{2\cos\theta} \sin\theta + W_{L2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{F}{2}\right)^2 + \left(\frac{F}{2} \tan\theta + W_{L2}\right)^2} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{反力方向 } \phi = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{F}{2\cos\theta} \sin\theta + W_{L2}}{\frac{F}{2\cos\theta} \cos\theta} \right) \quad (13)$$

(四) 校正誤差估計公式定為

$$e_{rr} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (S_i - M_i)^2}{n}} \quad (14)$$

其中， S_i 為理論值； M_i 為測量值； n 測量次數

伍、研究結果

一、本作品量測裝置組裝完成實體圖，如圖 5-1 所示。

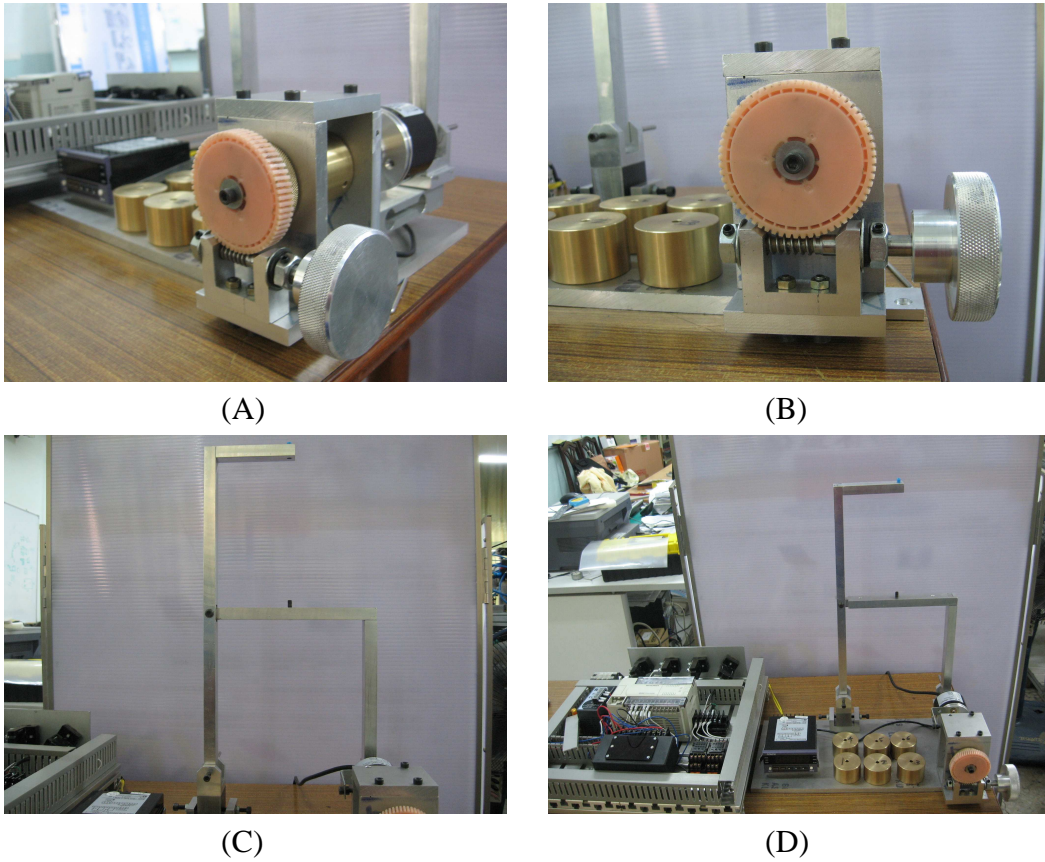


圖 5-1 (A)(B)角度調整機構 (C)三桿結構件 (D)量測裝置系統圖

二、角度調整機構：荷重元量測反力角度調整，如圖 5-2 所示。

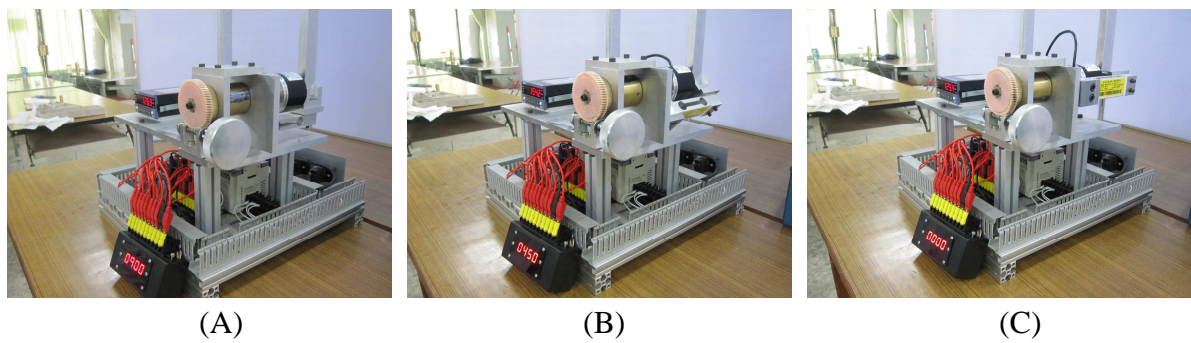


圖 5-2 荷重元量測角度 (A) 90° (B) 45° (C) 0°

三、Load Cell 校正量測結果顯示線性度甚佳，如圖 5-3 所示，並以公式 14 計算誤差值為 0.97(9.73gw)

砝碼值	砝碼 實際重量	測量值	誤差值
50	500 gw	51.1	0.973 (9.73gw)
100	1000 gw	100.7	
150	1500 gw	151.3	
200	2000 gw	201.2	
250	2500 gw	250.9	
300	3000 gw	300.2	

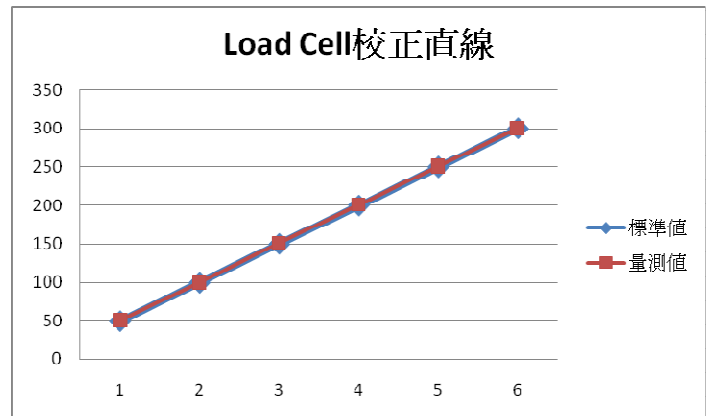
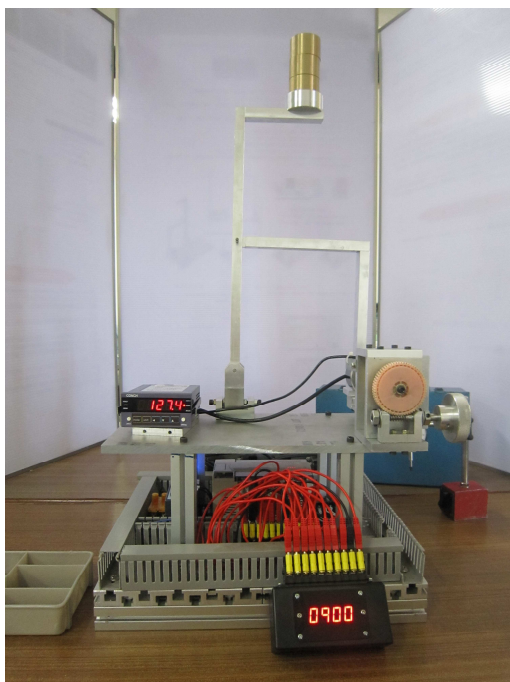


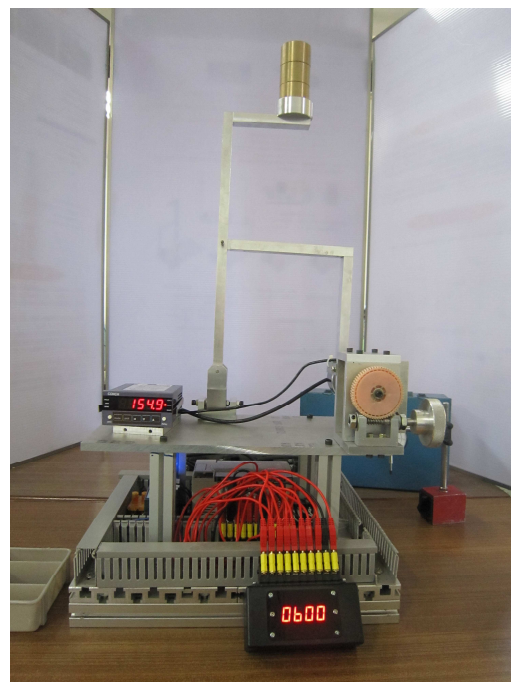
圖 5-3 Load Cell 校正結果

四、測量步驟

- (一) 在三力構件 C 點上置放秤盤及砝碼施加負荷，每個砝碼重為 50 單位(500gw)，施加的負荷 F 分別為 300 單位(3000gw)、250 單位(2500gw)、200 單位(2000gw)、150 單位(1500gw)。
- (二) 使用角尺將 L 型轉架及荷重元復歸，確定與水平夾角為 90° ，並記錄反力量測值，此時量測值為 R_E 在 Y 方向的分量。
- (三) 依公式 12 及公式 13 計算理論值 R_E 大小及方向。
- (四) 轉動手輪以調整測量角度，以每 1.5° 區間調整並記錄量測值。
- (五) 操作時反力量測值會漸增然後漸減，由反力值變化觀察角度反轉區間。
- (六) 記錄量測反力值及角度，以 Excel 繪出趨勢圖。



(A)



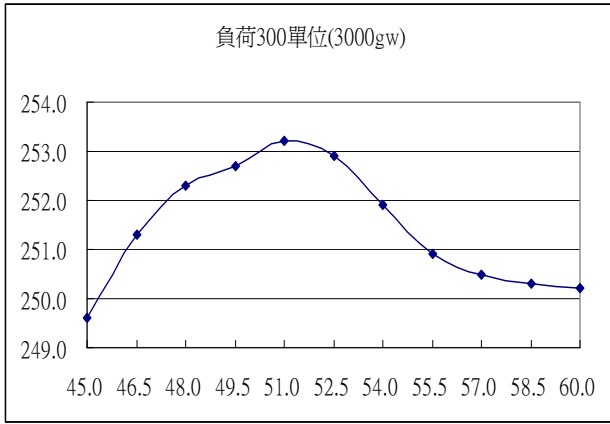
(B)

圖 5-4 量測值 (A)轉架復歸起始角度 (B)角度理論區間

五、測量結果

(一) 外力 $F=300$ 單位(3000gw)：

1. R_E 理論值大小為 249.6(2496 gw)；方向為 53.0° 。
2. R_E 測量值大小約 253.2(2532gw)；方向在 $51.0\sim 52.5^\circ$ 區間。
3. 誤差：3.6(36gw)約 1.44%。

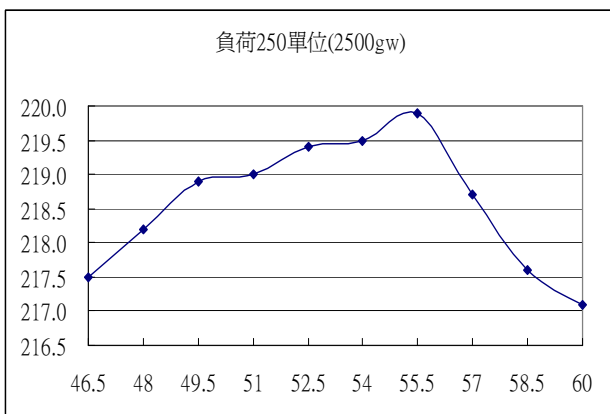


量測角度	測量值
60.0	250.2
58.5	250.3
57.0	250.5
55.5	250.9
54.0	251.9
52.5	252.9
51.0	253.2
49.5	252.7
48.0	252.3
46.5	251.3

圖 5-5 負荷 300 單位(3000gw)量測結果

(二) 外力 $F=250$ 單位(2500gw)：

1. R_E 理論值大小為 217.9(2179 gw)；方向為 54.9° 。
2. R_E 測量值大小約 219.9(2199gw)；方向在 $54.0\sim 55.5^\circ$ 區間。
3. 誤差：2.0(20gw)約 0.91%。

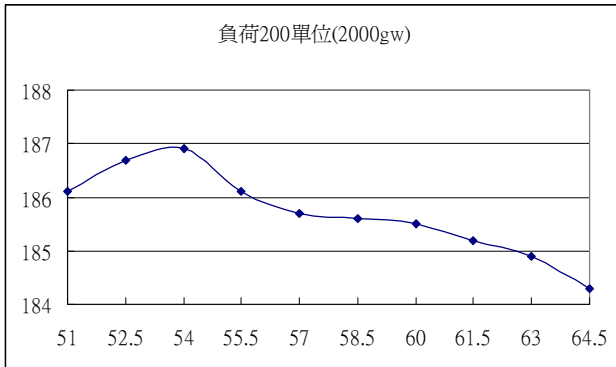


量測角度	測量值
60	217.1
58.5	217.6
57	218.7
55.5	219.9
54	219.5
52.5	219.4
51	219.0
49.5	218.9
48	218.2
46.5	217.5

圖 5-6 負荷 250 單位(2500gw)量測結果

(三) 外力 $F=200$ 單位(2000gw)：

1. R_E 理論值大小為 184.5(1845 gw)；方向為 57.1° 。
2. R_E 測量值大小約 186.9(1869gw)；方向在 $52.5\sim 55.5^\circ$ 區間。
3. 誤差：2.4(24gw)約 1.30%。

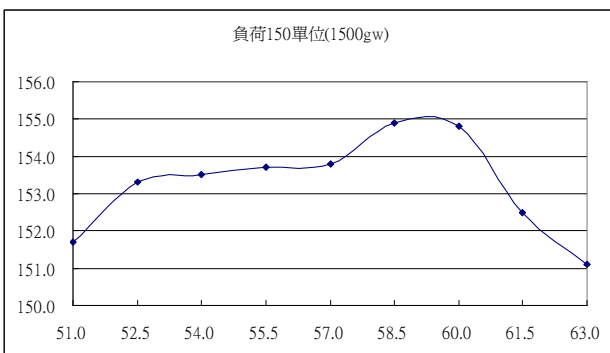


量測角度	測量值
64.5	184.3
63	184.9
61.5	185.2
60	185.5
58.5	185.6
57	185.7
55.5	186.1
54	186.9
52.5	186.7
51	186.1

圖 5-7 負荷 200 單位(2000gw)量測結果

(四) 外力 $F=150$ 單位(1500gw)：

1. R_E 理論值大小為 147.7(1477 gw)；方向為 59.4° 。
2. R_E 測量值大小為 154.9(1549gw)；方向在 $58.5\sim 60.0^\circ$ 區間。
3. 誤差：7.2(72gw)約 4.87%。



量測角度	測量值
64.5	151.1
63	151.1
61.5	152.5
60	154.8
58.5	154.9
57	153.8
55.5	153.7
54	153.5
52.5	153.3
51	151.7

圖 5-8 負荷 150 單位(1500gw)量測結果

陸、討論

- 一、力的量測裝置機構在設計或加工組裝時有什麼要領或注意事項？
 - (一) 設計時角度調整機構剛性要好，否則 Load Cell 輸出電壓經放大後的誤差會很可觀。
 - (二) 組裝時盡量確保構件的水平及垂直度，可配合使用指示量錶及直角規等量具，必要時以銷接座微調機構調整 ABC 三力構件。
 - (三) 設計時以荷重元為基準，以懸臂樑方式配接，構件的組立加裝軸承，加工時要注意同心度，以 $\Phi 5$ 標準圓棒組裝時注意構件間隙愈小愈好。
 - (四) 荷重元務必鎖緊，並注意受力方向，避免使其受到外力扭曲，使輸出信號不正確。
 - (五) 裝配時應注意荷重元電線不可受到旋轉架擠壓，以免斷線。

- 二、Load Cell 荷重元及顯示器歸零校正注意事項？
 - (一) 歸零校正以構件銷接座為秤盤，分別以空載及放置六個砝碼定出兩個輸入訊號值，依此決定校正直線，顯示器顯示值分別設定為 0000.0 及 0300.0。
 - (二) 搭配 Load Cell 的顯示器電表激勵電壓 E_x 勿超過 15V。

- 三、PLC 控制盤配線之注意事項
 - (一) 光編碼器 A 相輸出信號接於 X0、B 相輸出信號接於 X1。
 - (二) 7 段顯示器 4 個 bit 的顯示值分別接於 Y0~Y3；四位數的 Latch 門鎖分別接於 Y4~Y7。

- 四、在反力量測上有何注意要點？
 - (一) 欲量測 R_E 反力值之大小及角度，以手輪調整時請以較平順的方式緩慢調整，以縮短信號準定時間。
 - (二) 光編碼器選用 1200P/R 即每個脈衝信號為 0.3° ，測量時以每 1.5° 為區間進行反力大小量測。若欲增加角度顯示精度，可將光編碼器裝置於蝸桿軸上，精度可增加 60 倍即每個脈衝信號可達 0.005° 。

- 五、量測數據如何處理？
 - (一) 圖表顯示以 Excel 製作圖表，選擇 XY 散佈圖。
 - (二) 選擇合適的座標軸數值，並定出最小值、最大值及主刻度間距。

柒、結論

- 一、我們所設計的量測裝置可以正確地測量出反力的大小及方向，並由實際測量中了解二力構件桿重在不忽略桿重的情形下，對於三桿結構件的影響。
- 二、我們所設計的量測裝置可以測量出反力的大小，同時可觀察出反力值反轉的角度區間，找出反力的方向。
- 三、二力構件桿重對於三桿結構件的影響，若桿重愈重則反力角度值會變大愈遠離 45° ；反之桿重愈輕則反力角度值會愈往 45° 趨近。
- 四、測量 R_E 反力值的誤差範圍為 2.5~7.2 單位(25gw~72gw)，誤差比率從 0.91%~4.87%。
- 五、結構件若加計桿重，可以發現所施加的外力由 150 單位(1500gw)變成 300 單位(3000gw)，反力角度值會由落在 $58.5\sim 60.0^\circ$ 區間減少為落在 $51.0\sim 52.5^\circ$ 區間，反力方向越來越接近不計二力構件桿重的理想值 45° 。
- 六、想要降低量測誤差應該從三桿結構件組裝精密度和及增加量測機構剛性著手，本作品元件材質採用鋁合金及銅合金，如果元件材質使用鋼料，相信可以提升測量的準確度。
- 七、未來可以設計 VB 人機介面配合控制器進行自動量測，達到即時量測的目標，並能由測量數據資料顯示和輸出量測曲線圖，降低人為操作誤差。

捌、參考資料及其他

- 一、 陳海清 (民 97)。機械力學。臺北縣：全華。
- 二、 葉倫祝 (民 97)。機件原理。臺北縣：全華。
- 三、 廖文賢(民 90)。三菱可程式控制器指令應用 100 題。台北市：文笙
- 四、 洪志育、允成科技 (民 92)。富士人機介面。臺北縣：新文京。
- 五、 江金隆、高健倡、馮榮豐 (民 93)。機電整合 PLC 進階控制系統。高雄縣：飛統。
- 六、 陳天青、廖信德、戴任詔 (民 92)。機電整合。臺北縣：高立。
- 七、 光編碼器 <http://cctv.yaba.com.tw>
- 八、 荷重元 Load Cell <http://www.ffuba.com/front/bin/home.phtml>
- 九、 荷重元顯示器 <http://www.conch.com.tw>

【評語】 090904

本作品針對一個基本三桿構件之靜力學問題，探討其原理並組裝一分析模組來量測固定支點之大小與方向，用以驗證理論值之正確性，為一很好之力學分析輔助教具，但侷限於單一型式，可繼續拓展至不同結構型式，使其更通用化，才較具有實用價值。