

2024仰望盃全國科學HomeRun實作大賽

決賽構想說明

隊伍名稱: 愛探險的Dora

作品名稱: 電子控制磁動力精準導引精確打擊系統

科學概念1: 磁場

電磁線圈砲是一種利用磁力加速子彈的武器系統。基本原理為利用電流產生的磁場，使子彈受到磁力的作用而

加速前進。由螺管中心磁力公式
$$B = \mu_0 J a_1 \beta \ln \left[\frac{\alpha + (\alpha^2 + \beta^2)^{1/2}}{1 + (1 + \beta^2)^{1/2}} \right]$$
 可知，磁力正比於電流大小、電流密度、導磁率。因此，若要提高電磁線圈砲的加速效果，主要可選擇提高電流強度與電流密度。

科學概念2: 電容充放電

線圈通電後會產生磁場，若使用電池通電將難以控制產生磁場的時間。但要將子彈射出，其實只需短暫的磁場，如果時間過長，子彈將再被吸回。因此本作品使用電容，利用其快速放電的原理，使子彈順利射出，且可藉由控制充電的時間，以達到不同的初速。

一、發想動機：

在美術課的影片欣賞時，老師播放了「新世紀福音戰士」，劇中最後一段為初號機使用「陽電子砲」匯集整個城市的電力充電與敵人戰鬥的場景。看到它充電並發射的那一幕，多個變電站同時滿載，透過好幾根高聳的鐵塔充能，再一瞬間傾洩所有能量砲擊，那巨大的殺傷力和震撼的場面，使我們決定在自主學習製作相關的主題。

然而，現實中的高中生，不像動漫裡能隨心所欲，只能藉由實際手邊可取得的資源實作出「微縮」的版本。本作品為達到可填充能量並一次全部輸出，因而選擇電容以達到目的。但電容所驅動的主砲呢？經過各種管道的探索，最後選擇了「線圈砲」，透過瞬間的大電流通過線圈所瞬間產生的強大磁力，將子彈高速的彈出。

二、作品創意性：

線圈砲，同時結合了機構設計、電子電路設計與程式設計，實做出了原本只能存在於想像中的電磁砲裝置。文獻搜尋發現，過往的作品主要聚焦於增進電磁砲本身的威力，而本作品著重的方向主要在於裝置的功能性與精準度。以線圈砲作為核心，逐步發想周邊的機構，最終製作出一門易於操作且能準確打擊的電磁砲裝置。

在原先線圈砲的電路上，加入Arduino作為控制的中樞，並自行設計了控制電路與元器件，以符合日漸增加的需求。並利用3D建模的方式，借助其靈活性製作出完美契合所需功能的特殊部件，經過多次的實測與修改，才實現了完整的裝置功能。

三、硬體及電路架構圖：

以12 V的電壓通過升壓模組，將電壓升至390 V，再使用Arduino控制繼電器為電容充電。待電容充電至所需電壓後，再以Arduino控制繼電器，將子彈射出。而由於Arduino能控制的繼電器耐壓都不夠，所以選擇再外接一個繼電器。

由Arduino控制馬達的轉向，使砲管能做俯仰角和水平方向角的調整，以及為裝置上彈。

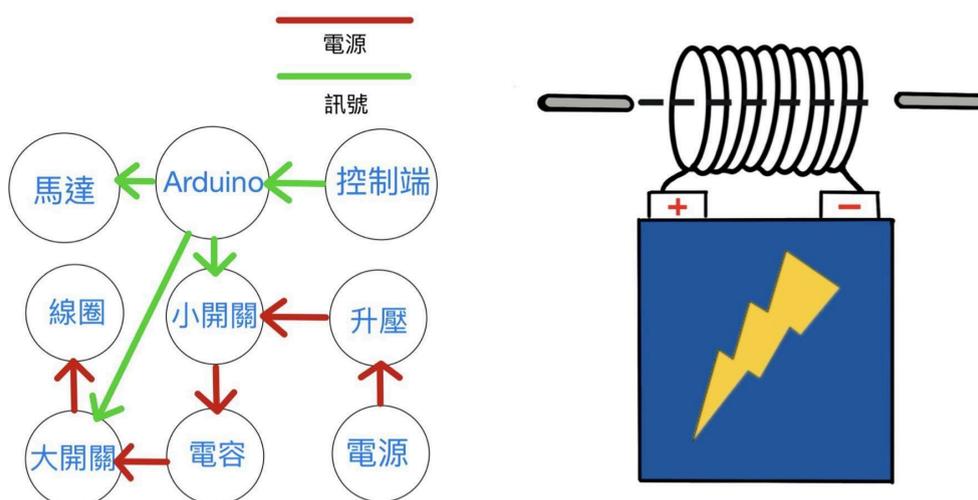


圖1. 左：充電與控制關係圖；右：發射原理示意圖

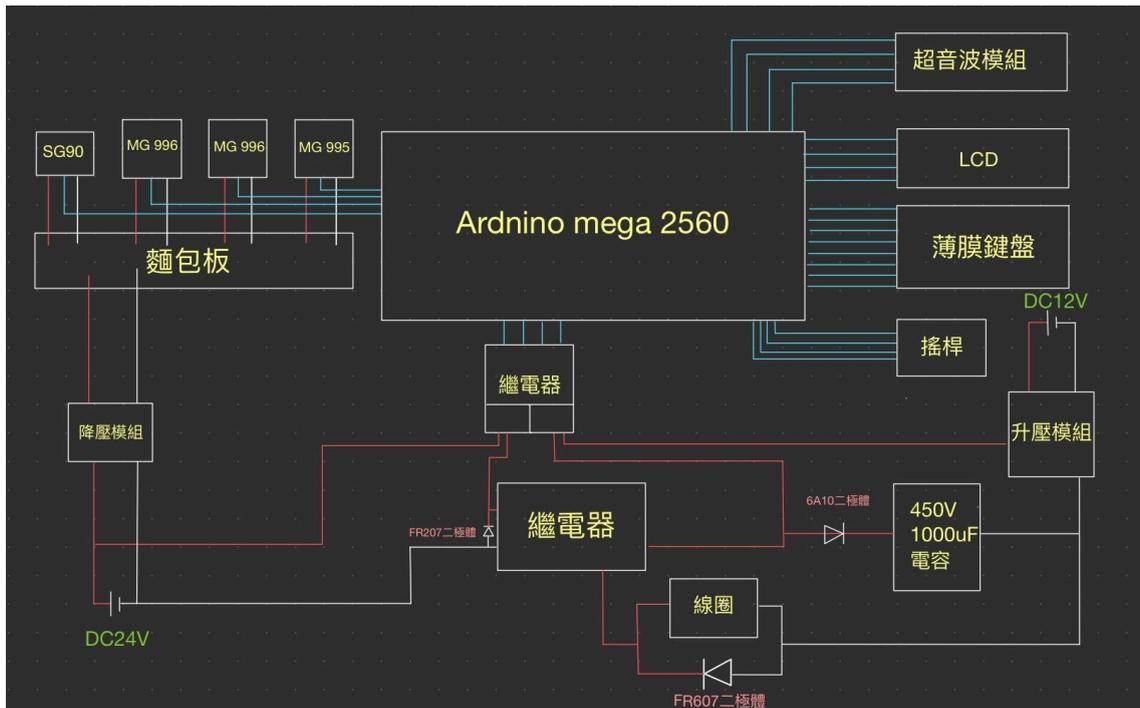
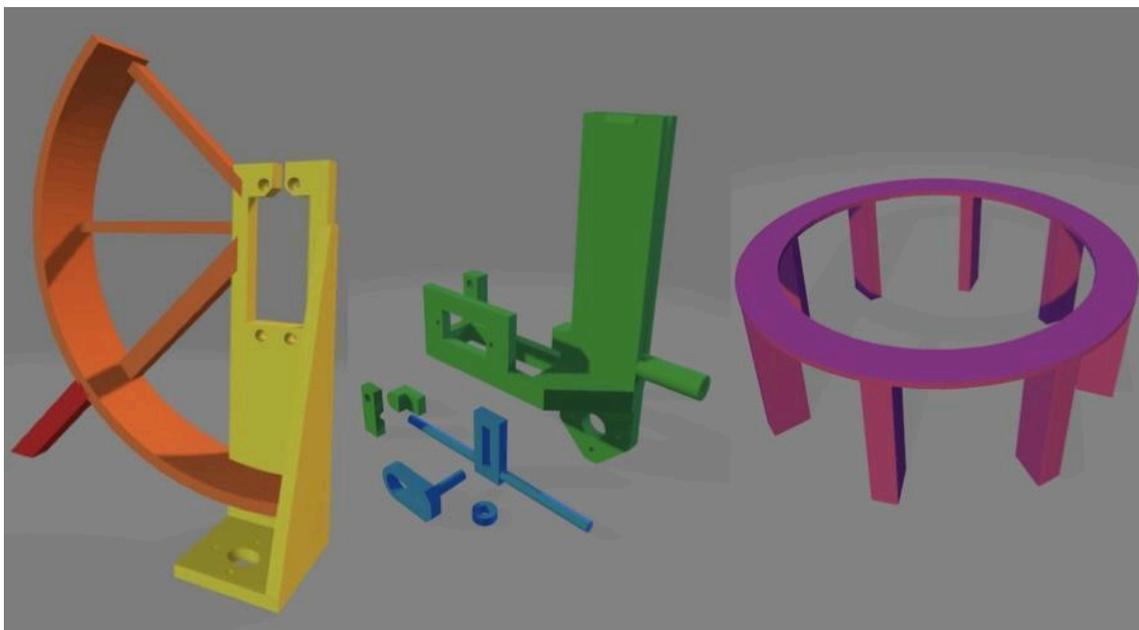


圖2. 整體裝置電路圖



- 滑塊
- 上滑軌
- 主支架
- 彈匣與填彈機構
- 槍機
- 滑軌圓環

圖3. 電腦建模零件模型

砲管機構由數個部件組成：砲體、支架、滑軌圓環。其中，砲體包含了彈匣、填彈機構與砲管，下方連接垂直仰角舵機。填彈時馬達透過滑槽機構驅動槍機做往復運動，槍機向後移動使子彈自彈匣落下，向前移動時將子彈推入砲管內待射位置，完成填彈的流程，發射時由線圈產生的磁力吸引子彈，將其射出，完成發射。

支架包含上滑軌、滑塊與主支架。支架承載垂直仰角舵機，連接砲體與底座水平舵機。水平旋轉時滑塊於滑軌圓環滑動，並支撐上方結構重量，發射時由上滑軌與滑塊傳遞砲體後座力至下滑軌圓環。

滑軌圓環支撐重量並承受發射時後座力，消除砲體搖晃，提升精準度。

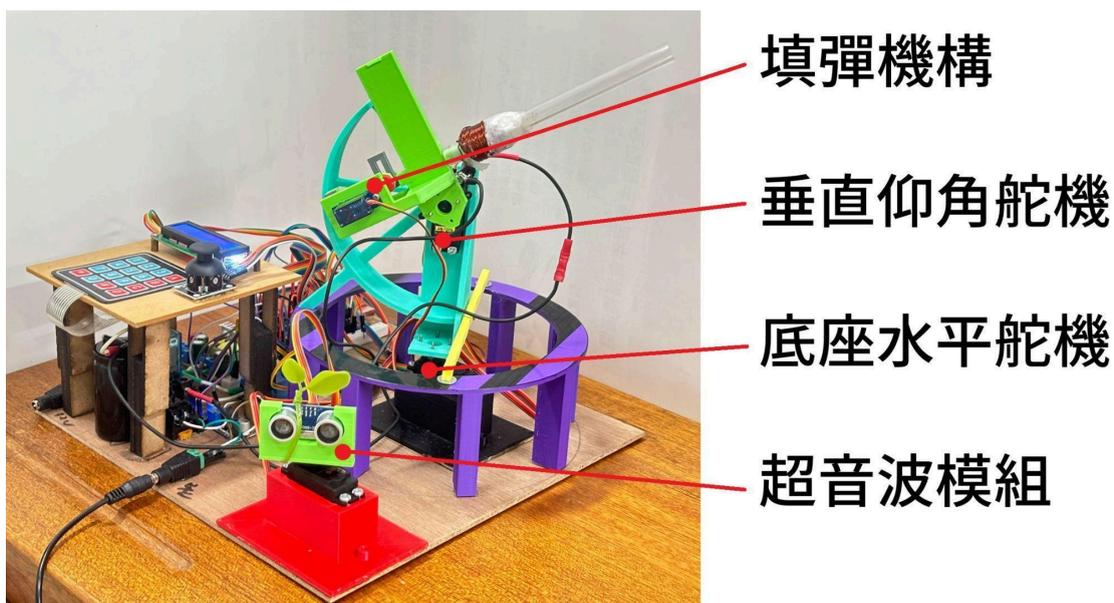


圖4. 整體裝置

超音波模組安裝在馬達上，旋轉至每個角度並記錄信號發射至返回的時間差，以此計算距離，並取最短者為目標。

超音波模組掃描到的目標的方位與距離，用三角函數轉換為平面座標後加上與砲體的相對距離，得到基於砲體的目標位置座標，再以反三角函

數轉換成角度與距離。

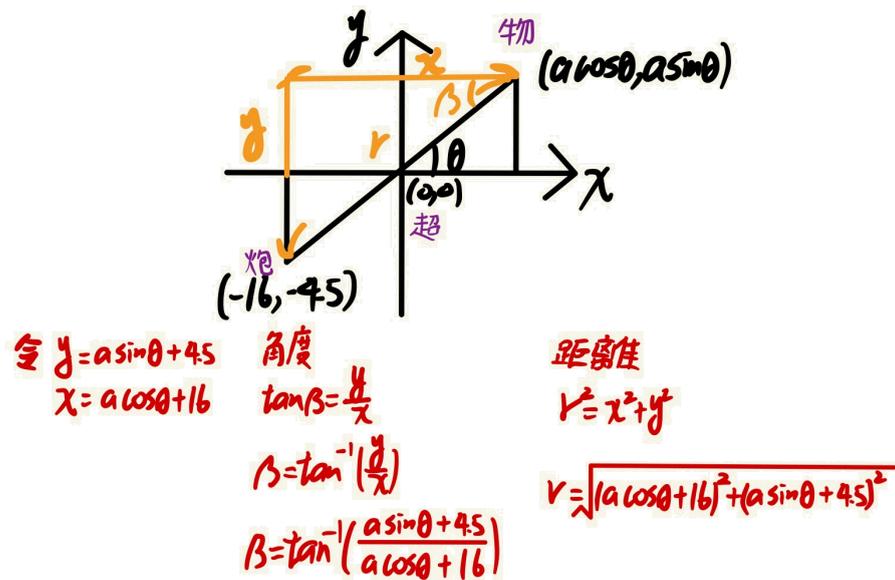


圖5. 手寫計算過程

四、作品成果說明：

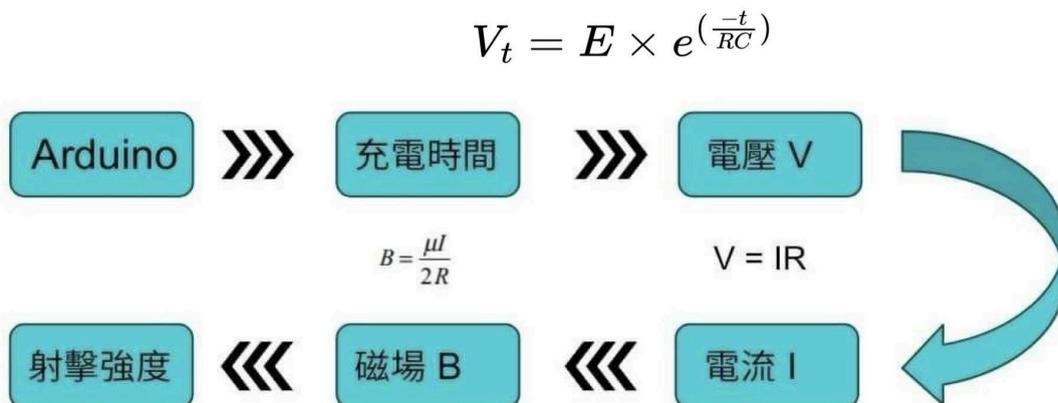


圖6. 控制射擊強度邏輯

Arduino 上有個晶體振盪器，可使控制電路的時間精確到毫秒，控制繼電器的開關就可以控制電容的充電時間。

若欲電路達到理想功能，則透過電容充電公式可以得知，電容電壓正比於充電電壓乘自然常數e的-t次方。而電路的電阻是固定的，透過V=IR可以知道，電壓和電流成正比。

線圈的圈數也是固定的，透過磁場強度的公式，可知電流和線圈中心的磁場強度成正比。又每次發射時子彈和線圈相對位置固定，因此由充電時間就可以控制發射強度。

(一)實驗驗證：充入電壓與充電時間的關係

1. 實驗假設：控制充電時間可以決定充入充電電壓。

2. 控制變因：電源電壓

3. 操縱變因：充電時間

4. 應變變因：充入電壓

5. 實驗步驟：

(1)將電容的正負兩極接上三用電表，用以觀察充入電容的電壓。

(2)藉Arduino程式控制電容充電迴路上繼電器開關時間的長短，時間以毫秒為單位，每次增加100毫秒的充電時間。

(3)記錄在不同充電時間長度下的電容的充入電壓，每個相同的充電時間做三次，最終取平均值。

(4)整理實驗數據，繪製成充入電壓與充電時間的關係圖後進行分析。

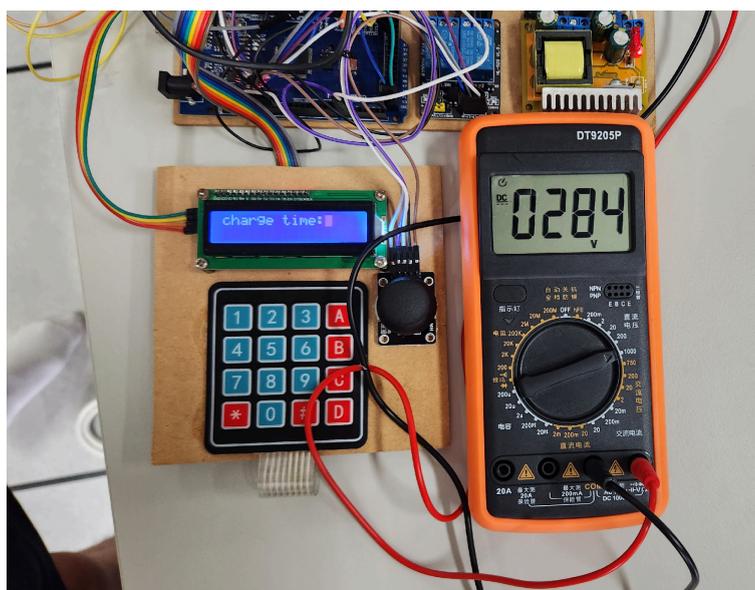


圖7. 實驗過程

時間(ms)	充電	電壓	(volt)	時間(ms)	充電	電壓	(volt)
100	55v			1300	280v	281v	280v
200	98v	99v	98v	1400	290v	290v	290v
300	127v	128v	129v	1500	299v	298v	297v
400	153v	157v	155v	1600	304v	306v	309v
500	175v	177v	178v	1700	314v	314v	315v
600	197v	197v	198v	1800	321v	322v	322v
700	215v	218v	217v	1900	330v	330v	330v
800	231v	235v	235v	2000	335v	350v	346v
900	248v	248v	247v	2100	355v	355v	355v
1000	260v	260v	260v	2200	359v	359v	361v
1100	270v	270v	270v	2300	366v	366v	366v
1200	276v	278v	278v	2400	372v	371v	371v
1300	280v	281v	280v	2500	378v	379v	377v
1400	290v	290v	290v	2600	384v	383v	384v
1500	299v	298v	297v	2700	389v	390v	389v

表1. 實驗數據

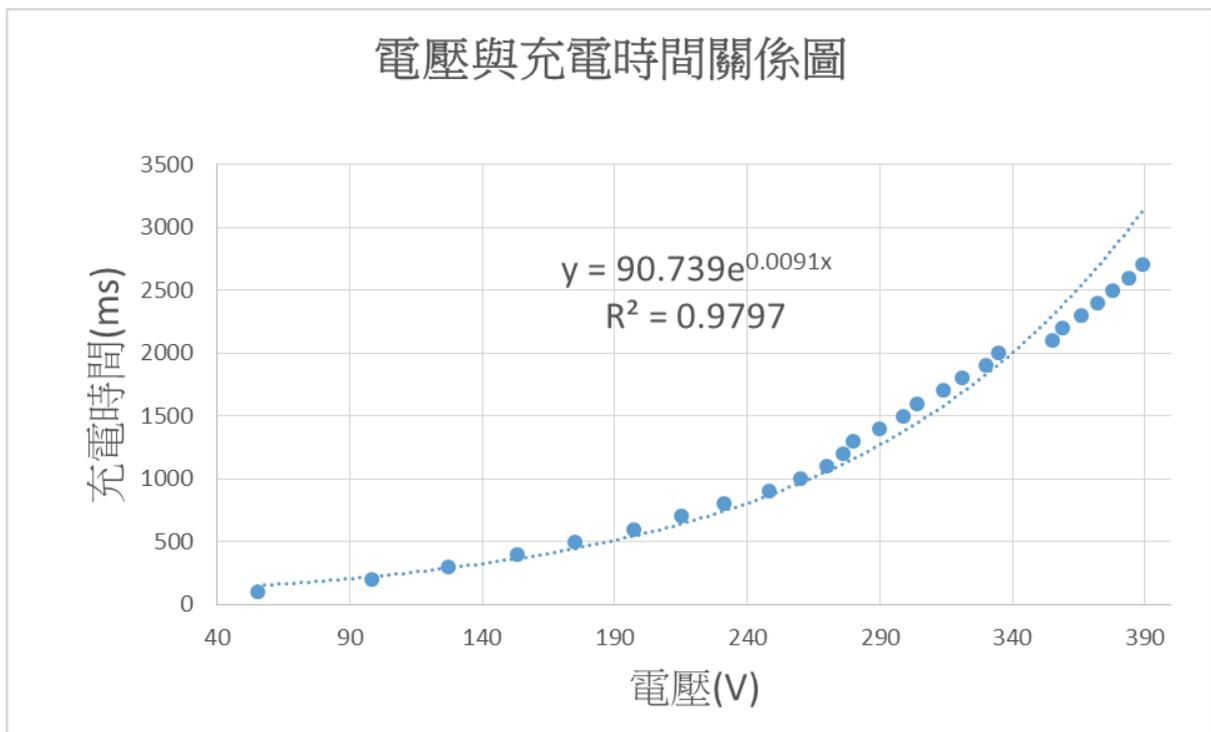


圖8. 充入電容電壓與充電時間關係分析圖

(二)結果討論：

由實驗結果關係圖可以發現，充電時間(單位毫秒)的長短與充入電壓(單位伏特)兩者呈自然指數成長，符合電容充電公式，電容電壓正比於充電電壓乘自然常數 e 的 $-t$ 次方，兩者呈高度正相關(相關係數約 0.9797)。因此，可以藉著控制充電時間的長短，來準確控制充入電容的電壓，調整子彈射出的威力。

作品在進行基本部件搭建後，如電磁砲與周圍的供電與發射線路和 Arduino 的控制程式，以此為根本，設計了幾項實驗來作為對裝置猜想的驗證，如研究充電時間與充入電壓的關係，藉以控制射擊威力，並測試其在不同距離下擊倒目標物所需要的射擊威力，以此建立完整的射擊資料庫，便於開發後續各種不同的射擊模式，好以擴充各種外加的功能元件，如增加了超音波感測模組來當作雷達，進行目標距離與方位的判定，集偵查與打擊於一體。

以下為電磁砲裝置的各式射擊模式：

1. 全自動雷達偵測模式

藉由超音波模組配合馬達底座旋轉達到近似於雷達掃描的效果，偵測距離砲台最近之目標，並判別目標物的方位進行砲台的水平的轉向，而充電蓄能和放電發射時機交由程式進行判定，其判斷依據源自於先前在不同射擊條件(如仰角、蓄能時間)下實驗所得出的數據建立起的資料庫。但本模式受限於超音波模組探測之極限距離，僅能偵測到最遠4公尺的目標。

2. 半自動射擊模式

輸入目標與砲口的距離，再選擇要以水平正常彈道或者是高仰角彈道模式進行射擊，高仰角彈道模式可以飛越過彈道中較高之障礙物，使其不

受阻擋，能精確打擊到障礙物後方的目標。

3. 開發者模式

依照操作者需求調整射擊仰角、水平轉向角度、充電時間長短(射擊初速大小)，達到所預期之準確打擊目標的目的。

最後，在裝置原型的基礎之上，再改良了砲臺主體的設計，並在其周圍架設環狀軌道，降低其發射時的後座力和砲臺底座舵機臂的公差所造成晃動對精準度的影響。同時，架高並固定中控臺，減少其排線未固定所造成錯誤的信號發送，還增加了其底下的走線空間，遮蔽部分外露的線路和零件，提升整體的整齊度和美觀性，裝置如圖4.所示。

五、參考文獻：

1. 林正雄(2002)。線圈上磁場強度的計算方法。科儀新知，23(2)，78-88。
2. Strongpilab實作派電子實驗室(2017年12月21日)。繼電器 EMI 電磁干擾防範-用一個元件搞定。

<https://www.strongpilab.com/relay-emi-suppress/>