

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

團隊合作獎

082806

未來戰警~遠端遙控機槍

學校名稱：高雄市左營區新上國民小學

作者：	指導老師：
小四 陳柏丞	張一州
小五 葉柏晨	許黃亮捷
小六 蔡炘宏	
小六 蔡岳桐	
小五 賴品睿	
小六 林芮萱	

關鍵詞：橡皮筋、竹筴、機關槍

摘要

本作品首先以市面上多種橡皮筋做為子彈的適用與耐用度做測試實驗以及研究如何利用冰棒棍及橡皮筋相結合成滾輪機關槍並利用棉線拉動滾輪以產生連發現象；再者希望將手動式滾輪機關槍透過電動馬達及晶片結合以達成遠端遙控自動連發。除此之外，排除大量擊發橡皮筋及減少卡彈的核心問題後，將研究如何製做快速裝彈輔助器來解決裝彈時在時間耗費的效率。在此，以上所敘述隻藍芽遠端遙控自動發射器以及快速裝彈輔助器為本作品研究的主要目標。

壹、研究動機

由於在三年級的時候曾經做過單發竹筷槍，並且在同學之間也開始慢慢的因為槍戰盛行而相互邀約結團參加；但是在打槍戰的當下是十分緊張刺激且屢屢都是一次裝好橡皮筋後發射完，在重複同樣的動作，所以不僅神經必須時時繃緊，甚至有一半的時間都是在自我防禦裝橡皮筋。正式因為這樣，我們開始思考該如何將槍管由單發模式轉為連發模式並且假如可能，是否有可能利用現有科技來製造無人發射機槍？

貳、研究目的

- 一、探討市售各種橡皮筋的適用性。
- 二、探討自製連發橡皮筋槍的可行性。
- 三、製作多種掛勾並探討大量裝取橡皮筋的適用性。
- 四、探討馬達在滾輪式槍管上的結合成效。
- 五、探討滾輪槍管快速裝填橡皮筋的可行性。
- 六、探討連發機關槍結合藍芽晶片遠端遙控的可行性。

參、研究材料和設備

橡皮筋類：美力橡皮筋、象王橡皮筋、強力橡皮筋、綁頭髮橡皮筋、綁金紙橡皮筋

材料類：竹筷子、迴紋針、冰棒棍、瓶蓋、電池盒、馬達、圓規、三角板、量角器、尺、漆包線、棉線。

設備類：三腳架、熱熔膠、烙鐵、尖嘴鉗、天秤、砝碼、長桌、碼表、相機、剪刀

肆、研究過程

一、探討市售各種橡皮筋的適用性。

南一版三上自然課「生活中有趣的力」提到橡皮筋經過力的作用後會變形，當作用力解除後橡皮筋便產生一股恢復原狀的力量，我們稱為彈力。

(一)市面常見各種不同橡皮筋彈力大小探究：

實驗說明：

利用橡皮筋會恢復原狀的特性，將橡皮筋套掛在自製固定長度 25 公分的發射器上射擊，距離越遠就表示彈力越大。

實驗步驟：

1. 收集常見的幾種橡皮筋。(圖 1)
2. 利用固定長度的發射器測試橡皮筋的射距。(圖 2)
3. 測得的距離，去頭去尾後(扣除最高及最低)再求平均值。



表一、各種不同橡皮筋彈力成效記錄。

橡皮筋品牌 射程距離	美力	象王	強力	綁頭髮	綁金紙
第一次	5.11	4.37	4.26	3.81	3.93
第二次	6.46	4.26	4.36	4.22	4.51
第三次	6.23	5.24	4.22	3.32	4.78
第四次	6.95	5.18	4.45	3.17	4.25
第五次	6.32	5.31	4.06	3.68	4.16
平均	6.33	4.93	4.28	3.60	4.37
射程效果	※	※			

(※：效果佳)

從表一、各種不同橡皮筋彈力成效紀錄中得知：

1. 美力牌橡皮筋產生的射程最遠彈力最大。
2. 五種橡皮筋射程皆在三.五公尺以上。而是與材質有關。
3. 發射過後的橡皮筋，有些變長，不同橡皮筋的疲乏度可能也不相同。

(二)各種不同橡皮筋的拉力大小探究：

實驗說明：

愈使橡皮筋變形我們需施予一個作用力，使橡皮筋受力後並行拉長，在此我們稱此力量為「拉力」。

實驗步驟：

1. 利用橫桿穿過橡皮筋，以砝碼當重物。
2. 橡皮筋原始長度不易測量，我們統一加掛 25 克的砝碼取得長度做為原始長度。(圖 3)
3. 將尺規固定，並平視觀測橡皮筋變形後的長度。(圖 4)
4. 掛上砝碼後所增加的長度越小，表示拉力越大。
5. 變形後的長度／原始長度＝變型倍數。



(圖 3)自製鉛球砝碼



(圖 4)橡皮筋掛重

表二、各種橡皮筋的拉力。

橡皮筋品牌	美力	象王	強力	綁頭髮	綁金紙
原始長度	6.4	6.8	7.9	3.0	5.9
100g	8.0	8.5	11.2	3.1	10.9
200g	10.9	10.9	13.4	3.2	14.5
300g	15.6	15.0	18.7	4.6	18.3

400g	20.2	18.6	25.7	6.8	22.6
500g	24.8	22.4	29.3	9.7	26.2
變形倍數	1.48	1.22	1.49	0.83	2.14
拉力最佳				※	
備註	橡皮筋受一段時間的掛重後變長了				

(※：效果佳)

從表二、各種橡皮筋的拉力成效紀錄得知：

1. 綁頭髮用的橡皮筋變形倍數最小，表示可產生最大的拉力。(圖 4)
2. 由表一、表二得知拉力值的大小與橡皮筋的射程沒有正相關係。
3. 經過一段時間的掛重發現橡皮筋的原始長度變長了，是因為彈性疲乏的關係。

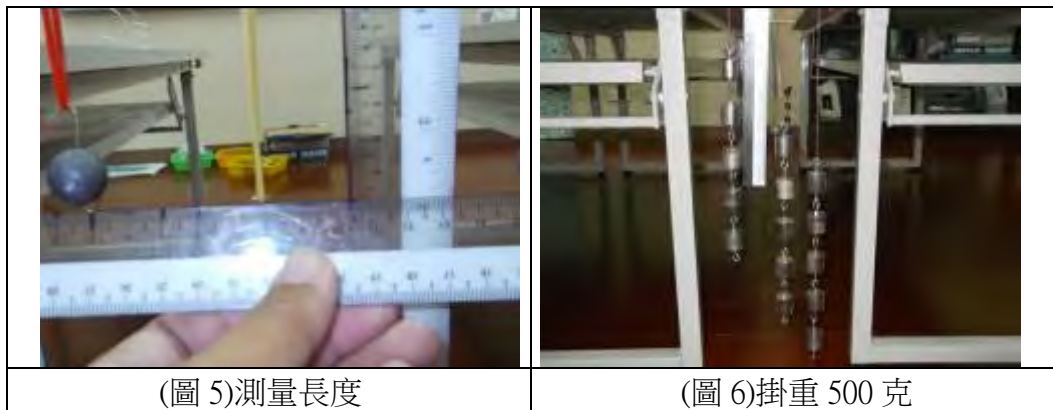
(三)探討各種不同橡皮筋的疲乏程度：

實驗說明：

由前次實驗我們發現掛重後的橡皮筋會有彈性疲乏的問題，而且不同品牌的橡皮筋彈性疲乏程度也有所不同。

實驗步驟：

1. 將尺規固定，利用橫桿穿過各種不同橡皮筋。
2. 用 500 公克砝碼做為拉力並經過一段時間觀察橡皮筋的變形程度。(圖 6)
3. 橡皮筋原始長度不易測量，我們統一加掛 25 克的砝碼取得長度做為原始長度。
4. 變形長度－原始長度＝疲乏程度。



(圖 5)測量長度

(圖 6)掛重 500 克

表三、各種橡皮筋疲乏程度記錄表。

橡皮筋品牌 疲乏長度	美力	象王	強力	綁頭髮	綁金紙
500g 長度	24.8	22.2	29.2	9.6	26.3
5 分鐘	25.2	24.6	31.1	11.2	26.8
10 分鐘	25.7	25.4	31.8	13.5	27.4
20 分鐘	26.2	25.7	32.5	15.1	29.2
30 分鐘	26.7	26.1	32.9	15.7	31.1
60 分鐘	28.3	28.1	35.7	16.8	32.5
變型長度－ 500g 長度	3.5	5.9	6.5	7.2	6.2
疲乏度最小	※				

(※：效果佳)

從表三、各種橡皮筋疲乏程度得知：

1. 美力牌橡皮筋的疲乏程度最小；其綁頭髮橡皮筋疲乏程度最大。
2. 表中疲乏程度的順序與(表一、彈力成效紀錄)符合，所以疲乏程度越小，彈力及射程就越大。

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論：

1. 市面常見的橡皮筋以美力牌橡皮筋產生的射程最遠、彈力最大。
2. 橡皮筋的射程與拉力值的大小無關。
3. 橡皮筋的疲乏程度越小射程越遠，彼此呈現正相關。

二、探討自製連發橡皮筋槍的可行性







(一)製作滾輪式槍管：

為了改進傳統竹筴槍單發的擊發方式，我們將利用竹筴子及迴紋針製作滾輪式槍管，並用一條棉線作為連發橡皮筋的主要連動結構，在此我們將此連動裝置稱為拉線。

製作過程：

1. 使用尖嘴鉗將迴紋針摺成 L 型，作為槍管之掛勾。
2. 將其 L 型迴紋針固定在竹筴子尾端，並以同樣步驟製作八支槍管。
3. 挑選兩個一樣大小的瓶蓋將八支槍管固定在瓶蓋上，並在瓶蓋上穿孔。

4. 利用竹籤作為滾輪式槍管的軸心，完成滾輪式槍管。
5. 將拉線纏繞滾輪式槍管並套掛橡皮筋，使橡皮筋在拉線上方。
6. 詳細步驟如(圖 7~圖 12)。

	
(圖 7)準備材料	(圖 8)迴紋針摺成 L 型
	
(圖 9)槍管掛勾	(圖 10)熱熔膠固定槍管
	
(圖 11)滾輪式槍管完成	(圖 12)滾輪式槍管掛勾正面

(二)拉線角度連發的成效探討：

將拉線纏繞一圈在滾輪式槍管上，並掛上橡皮筋使拉線壓在橡皮筋底下直至一圈填滿後，再將拉線繞上第二圈並掛上第二圈橡皮筋，重覆此動作便能套掛數

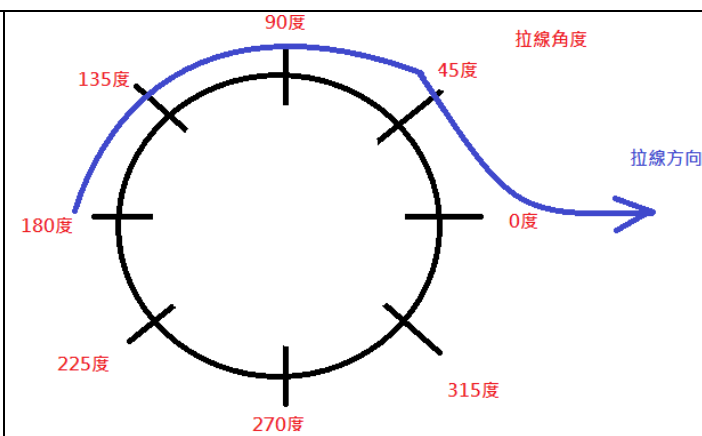
十條橡皮筋。當拉線被牽動時，壓在上方的橡皮筋將會被牽引發射。

實驗步驟：

1. 利用棉線做為拉線。(圖十四)
2. 將滾輪式槍管固定在桌上穩定操作。
3. 從各種不同角度拉線測試連發之效果。(圖十五)
4. 統一掛上 8 發橡皮筋測量。



(圖 13)拉線在橡皮筋下方



(圖 14)拉線角度

表四、拉線的連發成效記錄表

拉線角度 \ 連發數	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
第一次	8	8	8	8	8	8	8	8
第二次	8	8	8	8	8	8	8	8
第三次	8	8	8	8	8	8	8	8
平均	8	8	8	8	8	8	8	8
連發效果	※	※	※	※	※	※	※	※
備註	0°（側拉）與 270°（下拉）較省力。							

(※：效果佳)

從表四、拉線的擊發成效記錄得知：

1. 拉線效果最好，在任何角度下都能擊發。
2. 實驗發現滾輪式連發槍管在 0°與 270°時啟動的連發效果最好，所以我們採用拉線方式測試 0°（側拉）與 270°（下拉）來作比較。

(三) 270°拉線角度連發的成效探討：

實驗步驟：

1. 將滾輪式槍管固定在桌上穩定操作。
2. 利用砝碼當重物逐一的掛在拉線上。
3. 砝碼一顆 25 公克。
4. 統一掛 8 發橡皮筋測量。(如圖十八)

表五、270°拉線掛重成效記錄表。

法碼數量 擊發	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
第一次	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	全		
第二次	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	全	
第三次	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	全	
平均掛重	316 公克													

(x:無擊發 全:完全擊發)

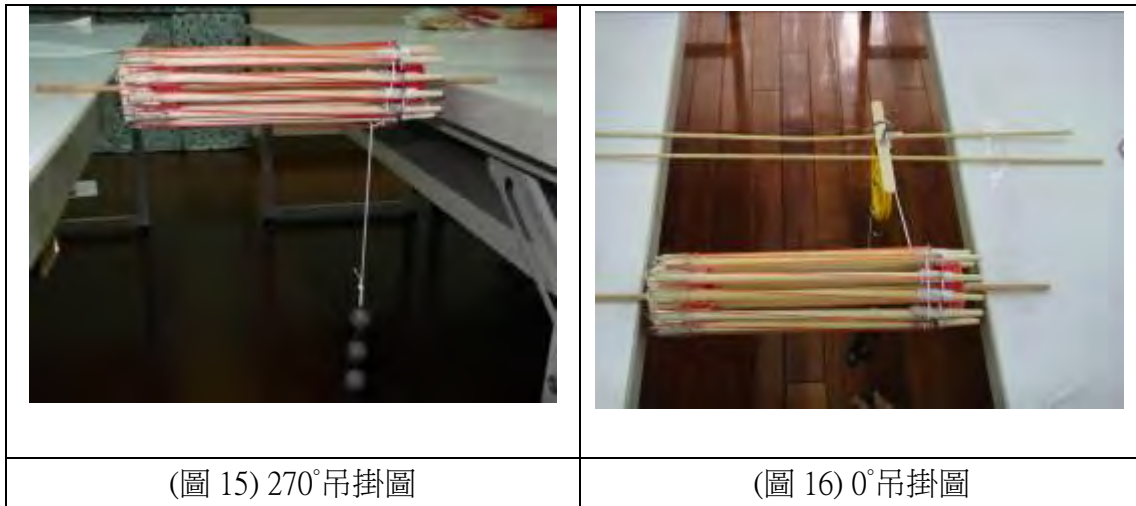
從表五、270°拉線掛重成效記錄得知：

1. 270°拉線掛重平均要 316 公克的拉力才能啟動。
2. 滾輪式連發槍管的拉線，只要拉力達到啟動標準就會完全擊發。
3. 利用拉線測試不同角度下橡皮筋發射的效果。

(四) 0°拉線角度連發的成效探討：

實驗步驟：

1. 將滾輪式連發槍管固定在桌上穩定操作。
2. 利用砝碼當重物逐一的掛在拉線上。砝碼一顆 25 公克。
3. 統一掛 8 發橡皮筋測量。
4. 為了讓拉線在 0°能夠施力，加裝定滑輪。



(圖 15) 270°吊掛圖

(圖 16) 0°吊掛圖

表六、0°拉線掛重成效記錄表。

法碼數量 擊發	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
第一次	×	×	×	×	×	×	×	×	全					
第二次	×	×	×	×	×	×	×	×	×	全				
第三次	×	×	×	×	×	×	×	×	全					
平均掛重	233 公克													

(x:無擊發 全:完全擊發)

從(表五、表六) 拉線掛重成效記錄得知：

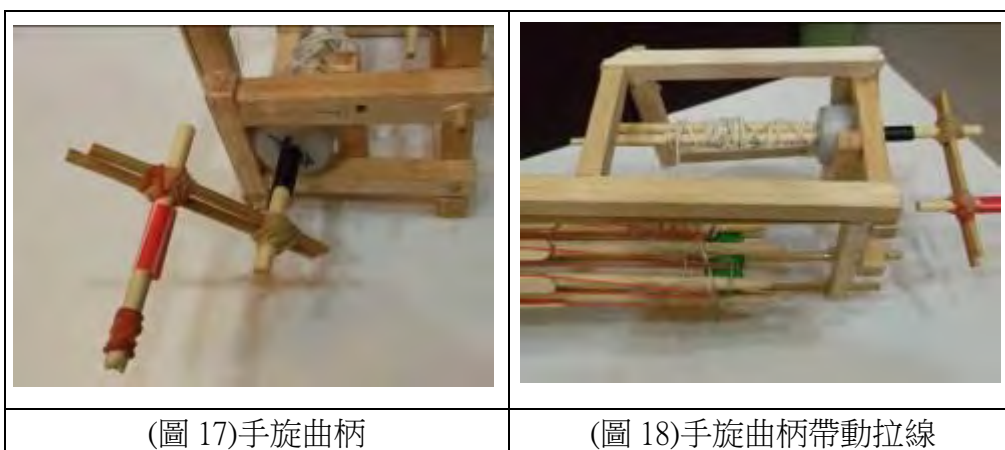
1. 拉線在 0°時較省力，270°時較費力。
2. 在 0°時拉線，拉力達到 233 公克就能完全擊發。

(五)滾輪式槍管結合手旋曲柄捲線器：

為了改進用手拉線的擊發方式，我們製作了旋轉式收線器，在此我們稱為「手旋曲柄」。將拉線一端固定在手旋曲柄上，旋轉曲柄時拉線順勢旋繞在曲柄上，壓在上方的橡皮筋也會被牽引發射。

製作過程：

1. 利用竹筷子製作手旋曲柄捲線器，並與滾輪式竹筷槍做結合。
2. 用手旋轉曲柄帶動拉線發射橡皮筋。
3. 測試 8 發、16 發、24 發的連發效果。



(圖 17)手旋曲柄

(圖 18)手旋曲柄帶動拉線

表七、手旋曲柄捲線器帶動連發成效記錄

橡皮筋數量 擊發數量	8 發	16 發	24 發
第一次	全	全	全
第二次	全	全	全
第三次	全	全	全
平均	全	全	全

(全:完全擊發)

表八、手旋曲柄捲線器帶動連發射速記錄

橡皮筋數量 全部擊發時間(s)	8 發	16 發	24 發
第一次	7.27	11.54	20.89
第二次	9.75	10.12	19.45
第三次	7.12	11.34	21.17
完全擊發射速平均	8.05	11.00	20.50
單發射速平均	1.01	0.69	0.85
備註	射速不穩定		

從表(七、八)手旋曲柄帶動連發成效記錄及射速記錄得知：

1. 手旋曲柄捲線器可以完全擊發所有橡皮筋。
2. 手旋曲柄捲線器發射的射速不穩定。

綜觀上述實驗結果得知：

1. 拉線效果非常好，在任何角度下都能擊發，尤其在 0°時最為省力，拉力只要 233 公克就能完全擊發。

2. 手旋曲柄捲線器可以完全擊發所有橡皮筋，但射速卻不夠穩定。

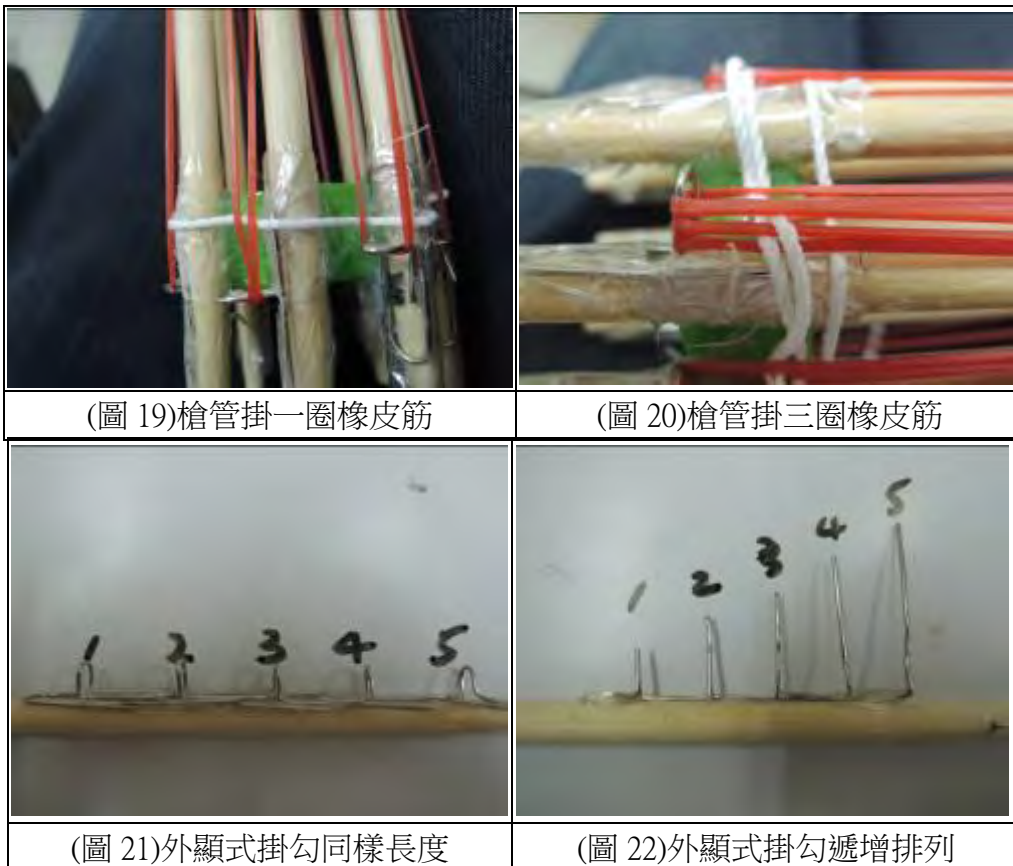
三、多種掛勾大量裝取橡皮筋的適用性。

(一)外顯式掛勾：

因為橡皮筋要掛在槍管上才可能擊發，所以我們利用迴紋針製作掛勾固定在槍管尾端，使槍管凸出一截掛勾以方便掛取橡皮筋，在此稱為「外顯式掛勾」。

實驗說明：

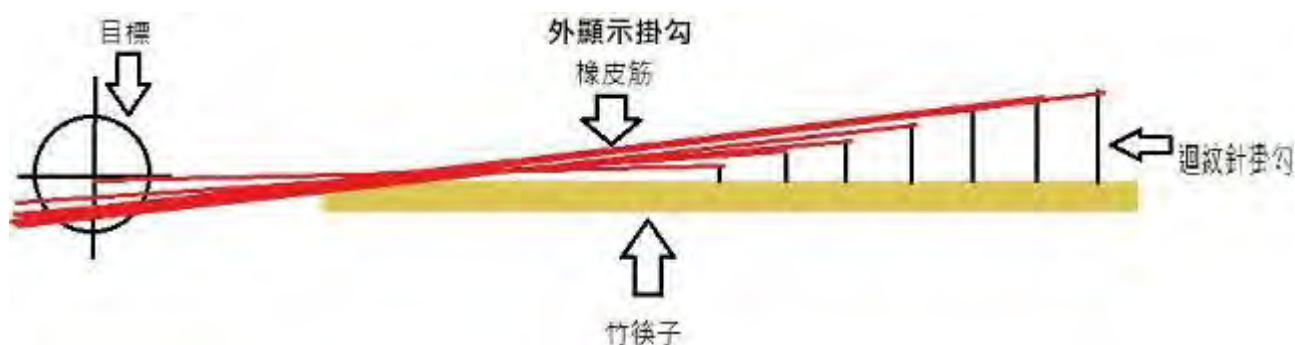
若一根槍管只裝一個掛勾，滾輪式槍管一圈則只有 8 發，重覆堆疊三層則增加至 24 發；若同一根槍管裝上兩個掛勾一圈 16 發，三層 48 發……依此類推。所以，裝上 5 根掛勾堆疊三層就有 120 發。但是假如在同一根槍管上五個迴紋針掛勾的高度都一致，則橡皮筋會被前方的掛勾所阻擋導致無法擊發(圖 21)，2 卡 1、3 卡 2、4 卡 3、5 卡 4，所以我們將決定調整迴紋針的長度，使後方掛勾高於前方掛勾。(圖 22)



實驗步驟：

1. 將拉線纏繞槍管，使每根掛勾下方都有拉線做牽引。

- 橡皮筋一端掛上槍管凹槽，另一端掛上以迴紋針製作的掛勾上。
- 觀察掛勾與橡皮筋之擊發情形。



表九、外顯式掛勾實驗紀錄。

	掛勾 1	掛勾 2	掛勾 3	掛勾 4	掛勾 5
一層	●	●	●	×	×
二層	●	●	×	×	×
三層	●	×	×	×	×
備註	1. 第二根以後的掛勾無法再掛上兩條以上的橡皮筋，而且出現變型的情況 2. 後方掛勾長度過長，嚴重影響滾輪的轉動。				

(●：可套掛 ×：無法套掛)

由表外顯式掛勾實驗紀錄發現：

- 若迴紋針掛勾前後長度相等，擊發時會發生卡彈現象，後方橡皮筋必定會卡住前方掛勾無法射擊。
- 第二支後的掛勾在掛上橡皮筋後，將會產生變形狀況且無法再繼續使用，是因材質不夠堅固之關係；若改用其他材質則可以增強掛勾的耐用度，但製作過程及操作難度卻也大大提升。
- 使用外顯式掛勾的方法製成的滾輪式槍管掛勾必須以等比遞增的發式排列，並不適用。
- 使用外顯式掛勾製作的滾輪式槍管，後方掛勾長度過長，嚴重影響滾輪的轉動，假使可以射擊精準度也會大大降低。

(二)隱藏式掛勾：

根據前次實驗我們發現外顯式掛勾會發生卡彈現象、影響槍管旋轉及後排掛勾彎曲變形的情況發生故不適用。所以，我們設計了新式掛勾改善外顯式掛勾的不良情形。

實驗說明：

新式掛勾與外顯式掛勾最大的不同是掛勾為槍管下方的凹槽，不但能方便掛上橡皮筋之外掛勾頂端與槍管平行不會有突出物阻擋射擊，擊發使橡皮筋保持接近的彈著點。

實驗步驟：

1. 鴨舌板的末端利用線鋸切割成五個等距、等長的溝槽製作成槍管。
2. 將拉線環繞在掛勾下方並掛上橡皮筋。
3. 觀察掛勾與橡皮筋之擊發情形。



(圖 23)隱藏式掛勾



(圖 24)隱藏式掛勾掛上橡皮筋

表十、隱藏式掛勾實驗紀錄。

	掛勾 1	掛勾 2	掛勾 3	掛勾 4	掛勾 5
一條	●	●	●	●	●
二條	●	●	●	●	●
三條	●	●	●	●	●
備註	射擊時非常順暢，不會有卡住的情形發生。				

(●：可套掛 ×：無法套掛)

表隱藏式掛勾實驗紀錄發現：

1. 隱藏式掛勾材質較為堅固不易變形，前後掛勾的長度相等，擊發時非常順暢不會發生卡彈現象。
2. 隱藏式掛勾槍管，射擊時彈著點接近，精準度比外顯式掛勾槍管高出許多是很好的結構。

綜觀上述實驗結果可獲至以下結論：

1. 外顯式掛勾前後長度相等，擊發時會發生卡彈現象；若採用遞增方式排列則會發生掛勾變形無法繼續使用情況發生，故不適用。
2. 隱藏式掛勾堅固不易變形，擊發時順暢不會發生卡彈現象，精準度也比外顯式掛勾槍管高，非常適用。
3. 我們採用隱藏式掛勾滾輪槍管進行後續研究。

四、探討馬達在多管滾輪式竹筴槍上的結合成效

由表十三、手旋曲柄捲線器帶動連發射速記錄發現，手動旋轉的方式射速不穩也不方便，所以我們希望將滾輪式槍管結和電動馬達。

(一) 減速馬達：

馬達的力量分為兩種 1.轉速 2.扭力，轉速與扭力成反比。減速馬達顧名思義便是減抵馬達的轉速提高扭力，轉速愈快扭力越小；反之，轉速愈慢扭力愈大。若以馬達轉速 13000rpm(每分鐘轉速)降低至 1300rpm 降速 10 倍，則扭力相對的提高 10 倍；若馬達轉速降至 130rpm 降速 100 倍，則扭力提高 100 倍。

表十一、馬達規格。

Description	扁型小馬達(130 小電機)
電壓(V)	3-6V
電流(mA)	<240mA
高度(m/m)	25mm
外徑(m/m)(φ)	15*20mm
軸徑(m/m)(φ)	2mm
轉速 rpm	13000rpm
重量	16.45g

製作過程：

- 1、組裝玩具減速馬達。(圖 25)
- 2、減速馬達與槍身結合，並用熱熔膠固定。
- 3、製作收線器並連接減速馬達。(圖 27)
- 4、詳細步驟如圖(25~28)。



(圖 25)減速齒輪



(圖 26)減速齒輪組軸 1、軸 2



(圖 27)收線器



(圖 28)全自動機關槍

(二) 齒輪比與減速公式：

馬達可以藉由齒輪的轉換來提高扭力，一般來說減速齒輪是由大、小齒輪及蝸桿齒輪所構成。小齒輪的直徑小齒數也少；大齒輪的直徑大齒數較多，因此小齒輪要轉許多圈才等於大齒輪轉一圈。

小齒輪帶動大齒輪 → 省力、費時。(提高扭力)

大齒輪帶動小齒輪 → 費力、省時。(提高轉速)

根據簡單的齒輪比計算公式：

扭力=馬達原始扭力* (大齒輪齒數/小齒輪齒數)* (大齒輪齒數/小齒輪齒數)
* ……N(轉換次數)。

我們使用的馬達經過測試原始扭力約為 33 公克(圖)，蝸桿齒輪 5 齒；小齒輪 10 齒；大齒輪 30 齒。

套用公式→軸(1)：33* 30/5* 30/10=594 公克。(圖 26)

→軸(2)：33* 30/5* 30/10* 30/10=1782 公克。(圖 26)

表十二、減速拉力記錄。

公克 \ 拉力	原始拉力	軸(1)	軸(2)
拉力值	33	594	1782
效果			※

(※：效果佳)

由表十二、減速拉力記錄得知：

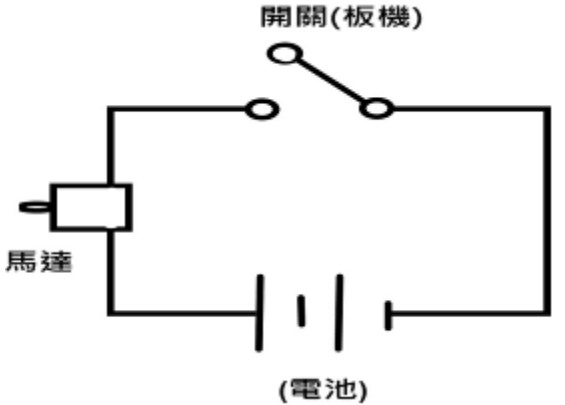



組裝的減速馬達軸(1)與軸(2)產生的拉力皆高於完全擊發拉力(233 公克)，非常適合做為滾輪式機槍連動結構。

(三) 電動板機：

板機是控制槍枝發射的重要結構，而橡皮筋連發數量的多寡便是由板機控制，我們希望以簡單的方式自製電動板機以及連接減速馬達的收線系統。

製作過程：

1. 兩根大迴紋針做為板機開關，其中一根調整為 L 型。(圖 30)
2. 迴紋針分別接上電線並且連接電池座，接點利用落鐵焊接加強導電性及耐用程度。(圖 31)
3. 將焊接好的迴紋針開關及電線固定於槍身的握把上做為板機。(圖 32)
4. 完成全自動滾輪式機關槍。

 <p>開關(板機)</p> <p>馬達</p> <p>(電池)</p>	
<p>(圖 29)板機電路圖</p>	<p>(圖 30)迴紋針板機</p>
	
<p>(圖 31)落鐵焊接</p>	<p>(圖 32)板機固定握把</p>

(四) 全自動機關槍射速測試：

- 1、利用馬達帶動拉線發射橡皮筋。
- 2、測試 8 發、32 發、72 發、120 發的連發效果。
- 3、用碼錶記錄時間，四捨五入至小數第二位。

表十三、減速馬達軸(1)射速測試記錄。

全自動機關槍 全部擊發時間(s)	8 發	32 發	72 發	120 發
第一次	1.82	7.88	17.91	30.24
第二次	1.97	7.56	18.25	29.25
第三次	2.06	8.05	18.13	31.56
完全擊發射速平均	1.95	7.83	18.10	30.35
單發射速平均	0.24	0.24	0.25	0.25

表十四、減速馬達軸(2)射速測試記錄。

全自動機關槍 全部擊發時間(s)	8 發	32 發	72 發	120 發
第一次	3.76	14.72	33.43	55.38
第二次	3.54	13.95	31.97	53.29
第三次	3.83	14.52	33.31	53.73
完全擊發射速平均	3.71	14.40	32.90	54.13
單發射速平均	0.46	0.45	0.46	0.45

從表(十三、十四) 減速馬達軸(1)(2)射速測試記錄得知：

1. 全自動機關槍射速穩定，平均接近。
2. 軸(1)單發射速總平均為 0.25 秒。平均每秒 4 發。
3. 軸(2)單發射速總平均為 0.46 秒。平均每秒 2 發。

綜觀上述實驗結果得知：

1. 一般馬達轉速快但扭力小，但經過齒輪的轉換便可以大大的提升扭力、拉力。
2. 我們選用的減速馬達模組經過計算後軸(1)可產生 594 公克的拉力；軸(2)

可產生 1782 的拉力。

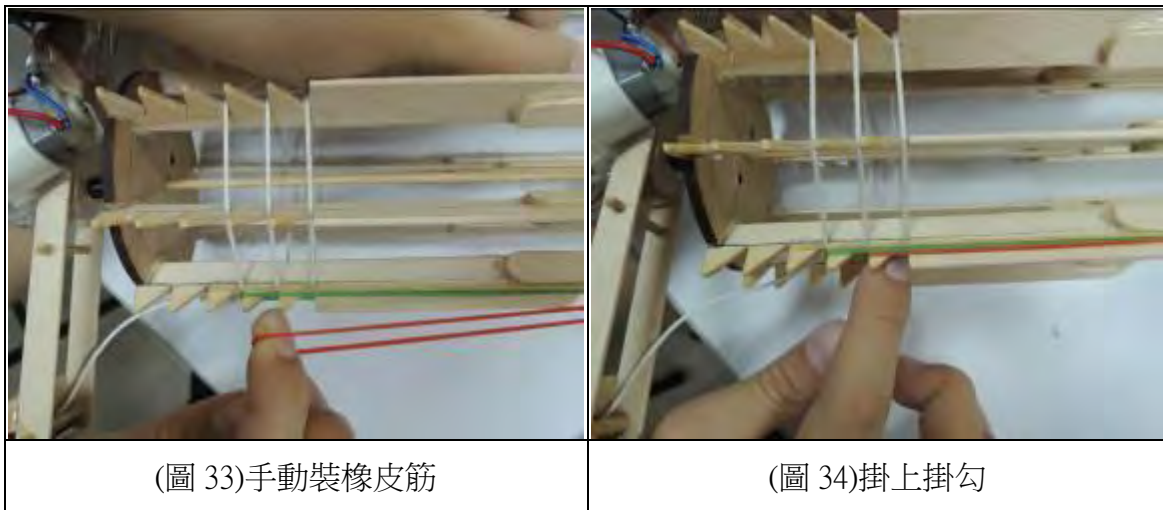
3. 減速馬達模組軸(1)平均每秒可射擊 4 發橡皮筋。
4. 減速馬達模組軸(2)平均每秒可射擊 2 發橡皮筋。

五、探討快速裝填橡皮筋的可行性

雖然連發機關槍能一次擊發大量橡皮筋，但在發射前必須手動一條一條的掛上橡皮筋，過程不但繁瑣、複雜更會花費許多時間，所以我們希望製作快速裝彈輔助器解決填裝橡皮筋時的困擾。

(一) 手動裝橡皮筋：

實驗步驟：如圖(33、34)



表十五、手動裝彈成效記錄。

數量 \ 次數	8 發	40 發	80 發	120 發
第一次	26	144	302	474
第二次	28	153	295	486
第三次	25	147	297	463
平均(秒)	26.3	148	298	474
單條平均(秒)	3.3	3.7	3.7	4.0

(二) 快速裝彈輔助器：

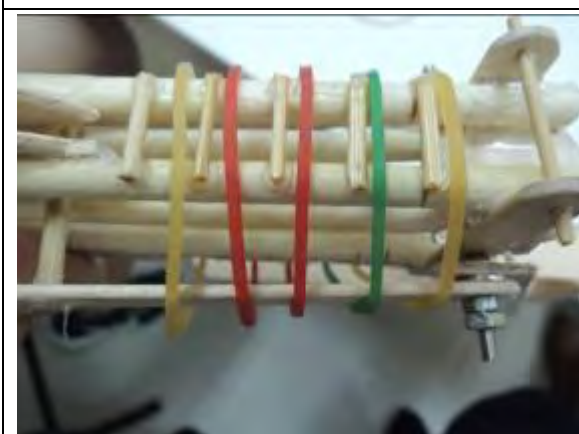
1. 利用竹筷子與鴨舌板製作滑軌。
2. 鴨舌板製作握把，並再適當的位置上鑽孔鎖上螺絲、螺帽製作活動關節。
3. 將牙籤分成小段，固定在適當位置上，做為凹槽。
4. 橡皮筋利用快速裝彈輔助器套上滾輪式槍管。



(圖 35) 快速裝彈輔助器



(圖 36) 裝入橡皮筋



(圖 37) 對準凹槽



(圖 38) 橡皮筋掛上槍管

表十六、快速裝彈成效記錄。

數量 \ 次數	8 發	40 發	80 發	120 發
第一次	83	97	185	277
第二次	87	108	192	281
第三次	89	105	182	272

平均(秒)	86	103	186	277
單條平均(秒)	10.8	2.6	2.3	2.3

從表(十五、十六) 裝彈成效記錄得知：

1. 手動套橡皮筋平均每條橡皮筋都在 3.5 秒以上，掛上 120 發大約要花上 8 分鐘的時間才能套完，若想再增加橡皮筋的數量套掛的時間還要再加長。
2. 快速裝彈輔助器一次就能將橡皮筋套上整排掛勾，若一次只套一個掛勾效果會比手動的差。

綜觀上述實驗結果可獲至以下結論：

若要套掛大量的橡皮筋，使用快速裝彈輔助器是很好的方法，大約可比手動套掛橡皮筋節省約一倍時間。

六、探討連發機關槍結合藍芽晶片遠端遙控的可行性

遙控的方法有很多種類，紅外線、無線電、藍芽、GPS……等，我們採用同學上機器人課的 Arduino Uno 晶片、藍芽控制器及寫好的程式結合全自動機關槍。

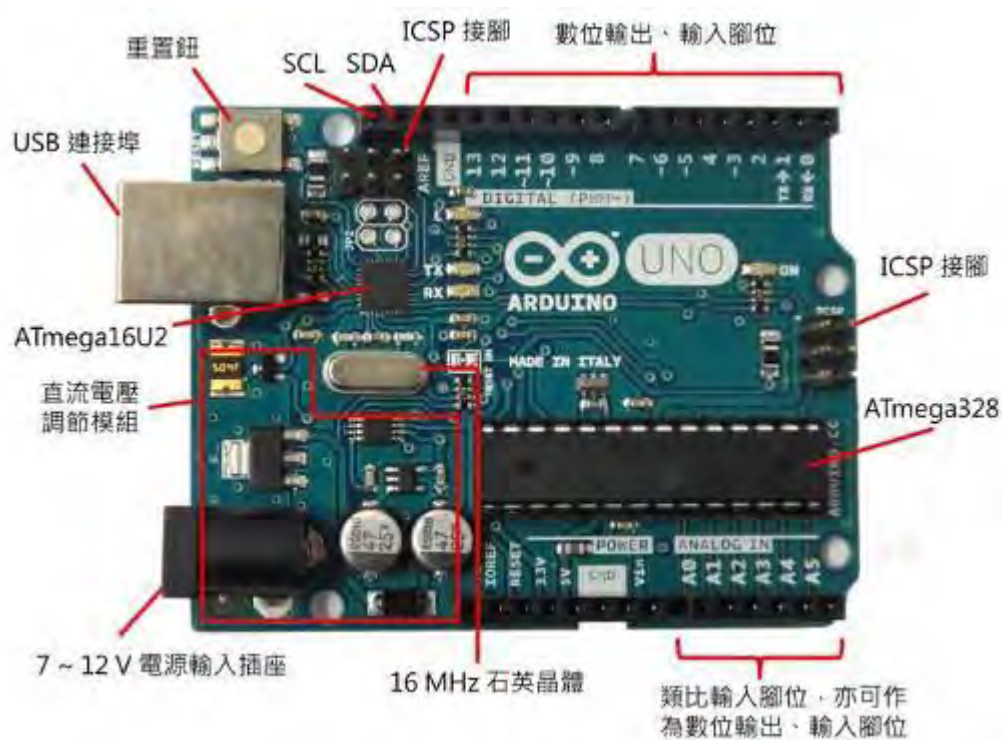
Arduino Uno 晶片：

Arduino Uno 晶片為目前是世界最受歡迎的程式設計晶片之一，只要原因是 1. 價格便宜 2. 功能強大 3. 程式設計難度較低，小朋友也能在練習後上手。

Arduino 軟體的開發環境可在網上免費下載，而 Arduino 的電路設計圖也可從官方網站自行下載，依據自身之需求進行修，但須要符合創用 CC 授權條款(創用 CC 授權條款)。

在以往的硬體環境中，要開發微控制器的程式，開發者需要具備電子、電機及相關科系的背景，一般人需花費大量時間能有機會進入這個開發環境中；而 Arduino 的學習門檻較為簡單且擁有多方面的參考資料，不需要電子電

機相關科系的背景，也可以很容易學會 Arduino 相關互動裝置的開發。由於 Arduino 以公開共享為基礎，多數人都樂於分享自己的的創作品，網路上能找的創作案子也非常豐富。以此為基礎，有時只需要參考分享者的作品，依據自身的需求進行調整，往往就可以在短時間內完成屬於自己的創作。Arduino 主要可區分為三大類，分別是 Arduino 硬體、Arduino 軟體及 Arduino 擴充原件。)



微控制器	ATMEGA328
工作電壓	5V
輸入電壓（推薦）	7-12V
輸入電壓（限制）	6-20V
數字 I/O 接腳	14（6 個提供 PWM 輸出）
模擬輸入接腳	6 支
EEPROM	1 KB（ATMEGA328）
震盪速度	16 MHz

(一) 自製自走車

無人駕駛與遙控駕駛是許多國家科技研發的熱門議題，在此我們也希望能與世界的潮流接軌，希望將連發機關槍裝載於車台上，並且利用 Arduino Uno 晶片、藍芽控制器及手機遙控操作車台。

製作過程：

1. 使用線鋸切割密底板，製做車身、車架、升降台。(圖 39)
2. 利用冰棒棍製作升降馬達座及晶片座。
3. 在適當的位置上用鉛筆標記，並且利用手工鑽穿孔。(圖 40)
4. 裝上馬達，並用螺絲、螺帽鎖上固定。
5. 升降馬達軸心裝上棉線控制升降台。
6. 裝上 Arduino Uno 晶片並連接馬達。
7. 詳細步驟如圖示。圖(39~



(圖 39)線鋸切割密底板



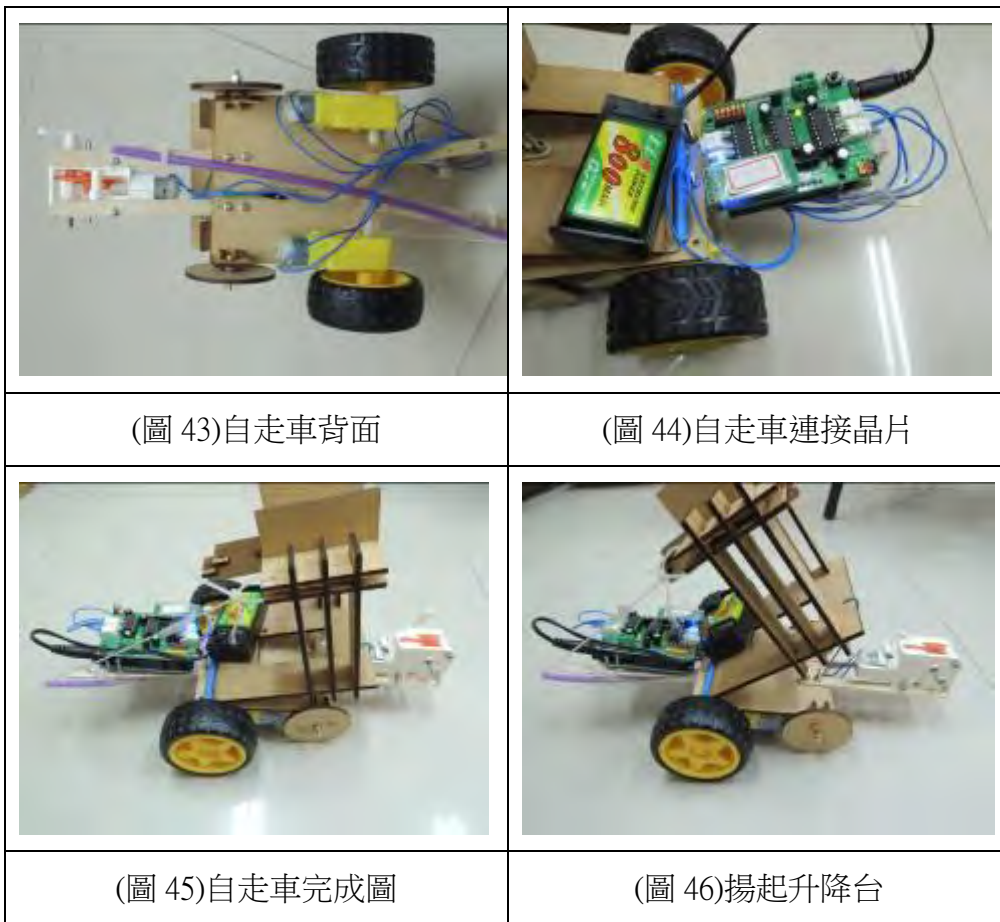
(圖 40) 利用手工鑽穿孔



(圖 41)升降台馬達



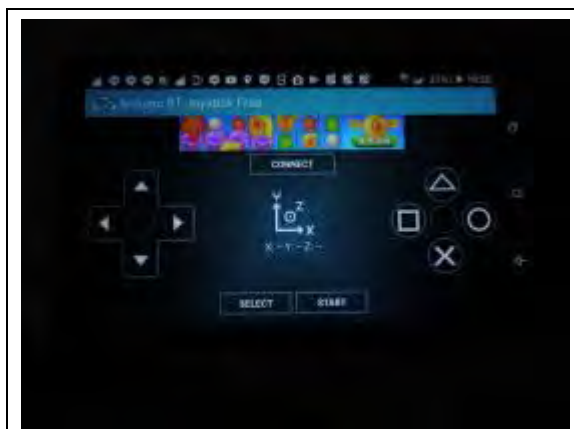
(圖 42)馬達裝上輪胎



(二) 機關槍結合自走車

製作過程：

- 1、將全自動機關槍架設在自走車上方。
- 2、全自動機關槍馬達連接 Arduino 晶片。
- 3、下載手機遙控程式 App。(圖 51)
- 4、完成遠端遙控機槍並觀察測試遠端操控情形。



(圖 51) 手機遙控程式 App 介面



(圖 52) 完成品

伍、結論

- 一、市面常見的橡皮筋以美力牌橡皮筋的射程最遠、彈力最大。
- 二、橡皮進彈力大小與拉力無關，而是與疲乏程度有關。
- 三、拉線效果非常好好，在任何角度下都能擊發，尤其在 0° 時最為省力，拉力只要 233 公克就能完全擊發。
- 四、外顯式掛勾前後長度相等，擊發時會發生卡彈現象；若採用遞增方式排列則會發生掛勾變形無法繼續使用情況發生，不適合做為滾輪是機關槍的槍管結構；隱藏式掛勾堅固不易變形，擊發時順暢不會發生卡彈現象，精準度也比外顯式掛勾槍管高，非常適做為滾輪式機關槍的結構。
- 五、一般馬達轉速快但扭力小，但經過齒輪的轉換便可以大大的提升扭力、拉力。
- 六、減速馬達模組軸(1)平均每秒可射擊 4 發橡皮筋；軸(2)平均每秒可射擊 2 發橡皮筋。

七、若要套掛大量的橡皮筋，使用快速裝彈輔助器是很好的方法，大約可比手動套掛橡皮筋節省約一倍時間。

八、Arduino 晶片與藍芽控制器確實能與全自動機關槍結合。

陸、討論

1、製作滾輪槍管時若能採用雷射切割作品會更加的精緻完美。

2、橡皮筋屬於不易分解的物質，若未回收使用或妥善處理將會造成環境上的危害。所以利用環保材料做為替代品可以深入研究。

3、Arduino 晶片功能很多例如紅外線感應、超音波感應……等，若能連結全自動機槍會有很大的突破。

柒、參考資料及其他

Y. C. Fung (馮元楨), *Foundations of Solid Mechanics*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1965

A.C. Ugural, S.K. Fenster, *Advanced Strength and Applied Elasticity*, 4th ed

麻省理工學院物理系視聽教學：[經典力學 1999](#)。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/Arduino>

O'REILLY 歐萊禮原文繁體中文翻譯書 - 踏進互動科技世界使用 Arduino

ChiuHao Chen. [OPEN 的力量：ARDUINO 開放硬體計畫](#). [2016-03-06].

<http://www.arduino.cn/thread-1066-1-1.html>

<http://www.powenko.com/en/doc-listings/powenko-arduino-tutorials/>

Potential Energy — The Physics Classroom.

<http://www.physicsclassroom.com/class/energy/u511b.cfm>

Elastic energy — http://en.wikipedia.org/wiki/Elastic_energy

Young's modulus — http://en.wikipedia.org/wiki/Young%27s_modulus

Thornton, S. T. and Marion, J. B. (2008), *Classical Dynamics of Particles and Systems*, fifth edition, Brooks Cole

<http://phy.ntnu.edu.tw/nstsc/index1.htm> 科教網

【評語】 082806

1. 設計一橡皮筋彈射機構利用旋轉棉線來拉動機構，以達到連續發射之功能。再配合自走車承載之，以達到利用遙控來移動此彈射機構，本作品製作能力佳。
2. 對文獻宜再深入探討，才能做出更有創意的作品。

(五)滾輪式槍管結合手旋曲柄捲線器：

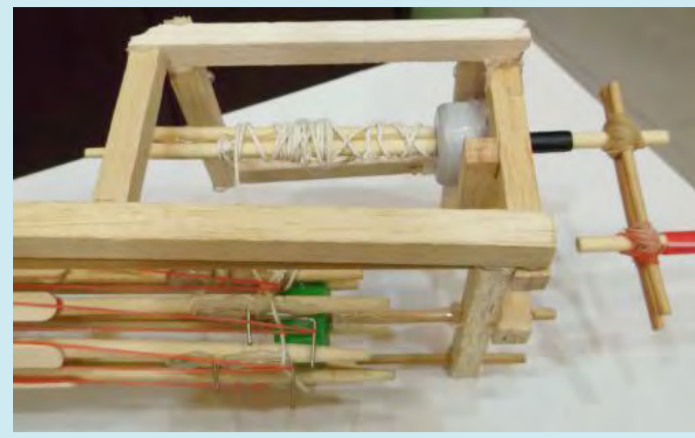
為了改進用手拉線的擊發方式，我們製作了旋轉式收線器，在此我們稱為「手旋曲柄」。將拉線一端固定在手旋曲柄上，旋轉曲柄時拉線順勢旋繞在曲柄上，壓在上方的橡皮筋也會被牽引發射。

製作過程：

- 1.利用竹筷子製作手旋曲柄捲線器，並與滾輪式竹筷槍做結合。
- 2.用手旋轉曲柄帶動拉線發射橡皮筋。
- 3.測試8發、16發、24發的連發效果。



(圖17)手旋曲柄



(圖18)手旋曲柄帶動拉線

橡皮筋數量	8發	16發	24發
擊發數量			
第一次	全	全	全
第二次	全	全	全
第三次	全	全	全
平均	全	全	全

橡皮筋數量	8發	16發	24發
全部擊發時間(s)			
第一次	7.27	11.54	20.89
第二次	9.75	10.12	19.45
第三次	7.12	11.34	21.17
完全擊發射速平均	8.05	11.00	20.50
單發射速平均	1.01	0.69	0.85
備註	射速不穩定		

從表(七、八)手旋曲柄帶動連發成效記錄及射速記錄得知：

- 1.手旋曲柄捲線器可以完全擊發所有橡皮筋。
- 2.手旋曲柄捲線器發射的射速不穩定。

綜觀上述 實驗結果得知

- 1.拉線效果非常好，在任何角度下都能擊發，尤其在0°時最為省力，拉力只要233公克就能完全擊發。
- 2.手旋曲柄捲線器可以完全擊發所有橡皮筋，但射速卻不夠穩定。

三、多種掛勾大量裝取橡皮筋的適用性。

(一)外顯式掛勾：

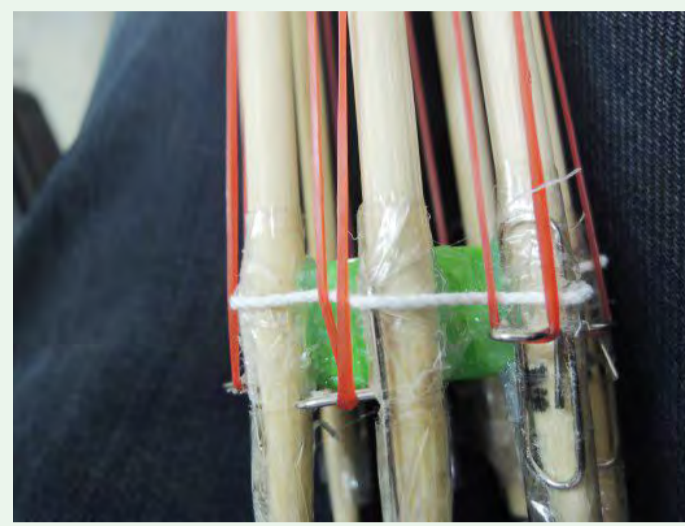
因為橡皮筋要掛在槍管上才可能擊發，所以我們利用迴紋針製作掛勾固定在槍管尾端，使槍管凸出一截掛勾以方便掛取橡皮筋，在此稱為「外顯式掛勾」。

實驗說明：

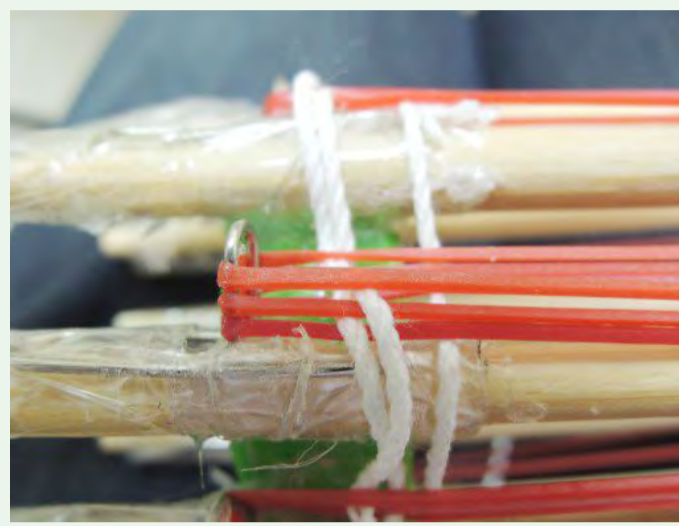
若一根槍管只裝一個掛勾，滾輪式槍管一圈則只有8發，重覆堆疊三層則增加至24發；若同一根槍管裝上兩個掛勾一圈16發，三層48發.....依此類推。所以，裝上5根掛勾堆疊三層就有120發。但是假如在同一根槍管上五個迴紋針掛勾的高度都一致，則橡皮筋會被前方的掛勾所阻擋導致無法擊發(圖21)，2卡1、3卡2、4卡3、5卡4，所以我們將決定調整迴紋針的長度，使後方掛勾高於前方掛勾。(圖22)

實驗步驟：

- 1.將拉線纏繞槍管，使每根掛勾下方都有拉線做牽引。
- 2.橡皮筋一端掛上槍管凹槽，另一端掛上以迴紋針製作的掛勾上。
- 3.觀察掛勾與橡皮筋之擊發情形。



(圖19)槍管掛一橡皮筋



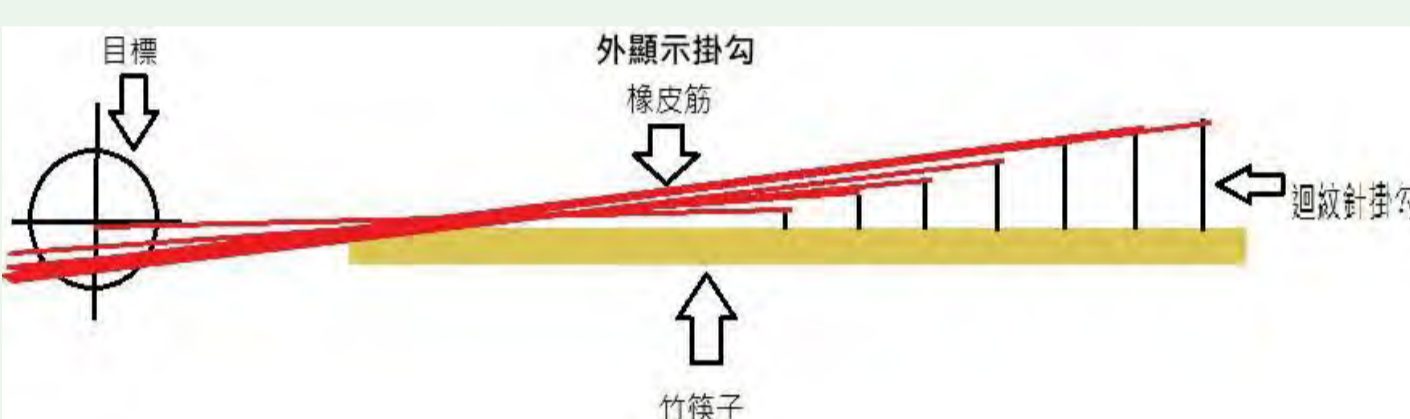
(圖20)槍管掛三圈橡皮筋



(圖21)外顯式掛勾同樣長度



(圖22)外顯式掛勾遞增排列



	掛勾1	掛勾2	掛勾3	掛勾4	掛勾5
一層	●	●	●	×	×
二層	●	●	×	×	×
三層	●	×	×	×	×
備註	1. 第二根以後的掛勾無法再掛上兩條以上的橡皮筋，而且出現變型的情況 2. 後方掛勾長度過長，嚴重影響滾輪的轉動。				

由表九外顯式掛勾實驗紀錄發現：

- 1.若迴紋針掛勾前後長度相等，擊發時會發生卡彈現象，後方橡皮筋必定會卡住前方掛勾無法射擊。
- 2.第二支後的掛勾在掛上橡皮筋後，將會產生變形狀況且無法再繼續使用，是因材質不夠堅固之關係；若改用其他材質則可以增強掛勾的耐用度，但製作過程及操作難度卻也大大提升。
- 3.使用外顯式掛勾的方法製成的滾輪式槍管掛勾必須以等比遞增的發式排列，並不適用。
- 4.使用外顯式掛勾製作的滾輪式槍管，後方掛勾長度過長，嚴重影響滾輪的轉動，假使可以射擊精準度也會大大降低。

(二)隱藏式掛勾：

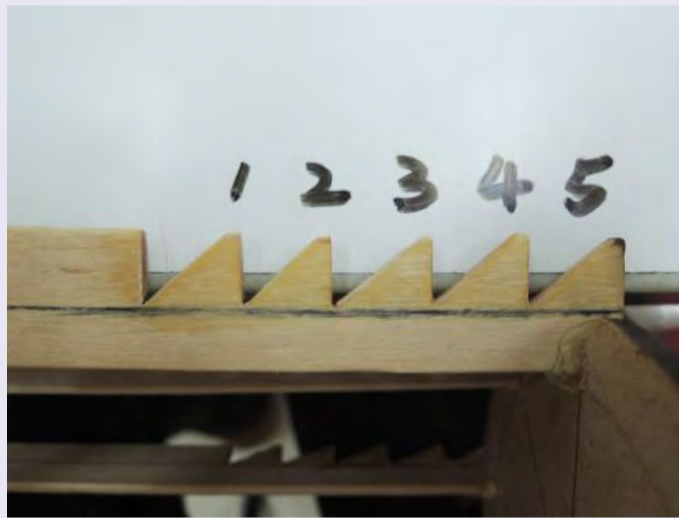
根據前次實驗我們發現外顯式掛勾會發生卡彈現象、影響槍管旋轉及後排掛勾彎曲變形的情况發生故不適用。所以，我們設計了新式掛勾改善外顯式掛勾的不良情形

實驗說明：

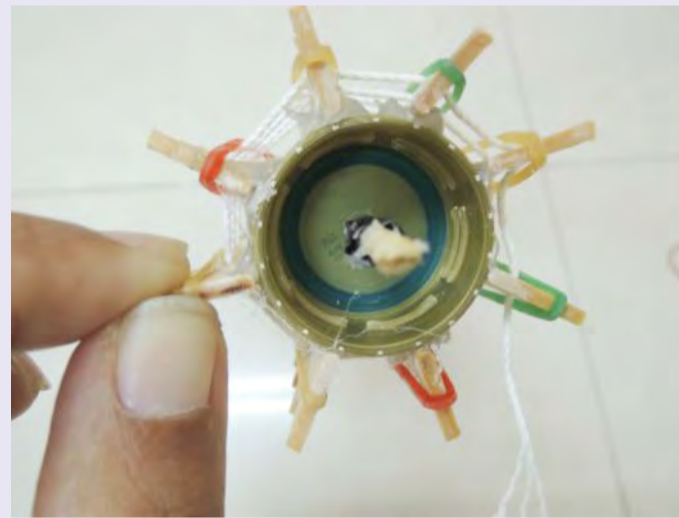
新式掛勾與外顯式掛勾最大的不同是掛勾為槍管下方的凹槽，不但能方便掛上橡皮筋之外掛勾頂端與槍管平行不會有突出物阻擋射擊，擊發使橡皮筋保持接近的彈著點

實驗步驟：

- 1.鴨舌板的末端利用線鋸切割成五個等距、等長的溝槽製作成槍管。
- 2.將拉線環繞在掛勾下方並掛上橡皮筋
- 3.觀察掛勾與橡皮筋之擊發情形。



(圖23)隱藏式掛勾



(圖24)隱藏式掛勾掛上橡皮筋



	掛勾1	掛勾2	掛勾3	掛勾4	掛勾5
一條	●	●	●	●	●
二條	●	●	●	●	●
三條	●	●	●	●	●
備註	射擊時非常順暢，不會有卡住的情形發生。				

表十隱藏式掛勾實驗紀錄發現：

- 1.隱藏式掛勾材質較為堅固不易變形，前後掛勾的長度相等，擊發時非常順暢不會發生卡彈現象。
- 2.隱藏式掛勾槍管，射擊時彈著點接近，精準度比外顯式掛勾槍管高出許多是很好的結構。

綜觀上述實驗 結果可獲至以下 結論

- 1.外顯式掛勾前後長度相等，擊發時會發生卡彈現象；若採用遞增方式排列則會發生掛勾變形無法繼續使用情况發生，故不適用。
- 2.隱藏式掛勾堅固不易變形，擊發時順暢不會發生卡彈現象，精準度也比外顯式掛勾槍管高，非常適用。
- 3.我們採用隱藏式掛勾滾輪槍管進行後續研究。

四、探討馬達在多管滾輪式竹筷槍上的結合成效

由表十三、手旋曲柄捲線器帶動連發射速記錄發現，手動旋轉的方式射速不穩也不方便，所以我們希望將滾輪式槍管結和電動馬達。

(一)減速馬達：

馬達的力量分為兩種1.轉速2.扭力，轉速與扭力成反比。減速馬達顧名思義便是減抵馬達的轉速提高扭力，轉速愈快扭力愈小；反之，轉速愈慢扭力愈大。若以馬達轉速13000rpm(每分鐘轉速)降低至1300rpm降速10倍，則扭力相對的提高10倍；若馬達轉速降至130rpm降速100倍，則扭力提高100倍。

製作過程：

- 1、組裝玩具減速馬達。(圖25)
- 2、減速馬達與槍身結合，並用熱熔膠固定。(圖27)
- 3、製作收線器並連接減速馬達。(圖27)
- 4、詳細步驟如圖(25~28)

表十一、馬達規格。

Description	扁型小馬達(130小電機)
電壓(V)	3-6V
電流(mA)	<240mA
高度(m/m)	25mm
外徑(m/m)(φ)	15*20mm
軸徑(m/m)(φ)	2mm
轉速 rpm	13000rpm
重量	16.45g



(圖25)減速齒輪



(圖26)減速齒輪組軸1、軸2



(圖27)收線器



(圖28)全自動機關槍

(二)齒輪比與減速公式：

馬達可以藉由齒輪的轉換來提高扭力，一般來說減速齒輪是由大、小齒輪及蝸桿齒輪所構成。小齒輪的直徑小齒數也少；大齒輪的直徑大齒數較多，因此小齒輪要轉許多圈才等於大齒輪轉一圈。

小齒輪帶動大齒輪 → 省力、費時。(提高扭力)

大齒輪帶動小齒輪 → 費力、省時。(提高轉速)

根據簡單的齒輪比計算公式：

扭力=馬達原始扭力·(大齒輪齒數 / 小齒輪齒數)·(大齒輪齒數 / 小齒輪齒數)·.....N(轉換次數)

我們使用的馬達經過測試原始扭力約為33公克(圖)，蝸桿齒輪5齒；小齒輪10齒；大齒輪30齒。

套用公式→軸(1)：33·30 / 5·30 / 10=594公克。(圖26)

→軸(2)：33·30 / 5·30 / 10·30 / 10=1782公克。(圖26)

表十二、減速拉力記錄。(※：效果佳)

拉力	原始拉力	軸(1)	軸(2)
公克			
拉力值	33	594	1782
效果			※

由表十二、減速拉力記錄得知：

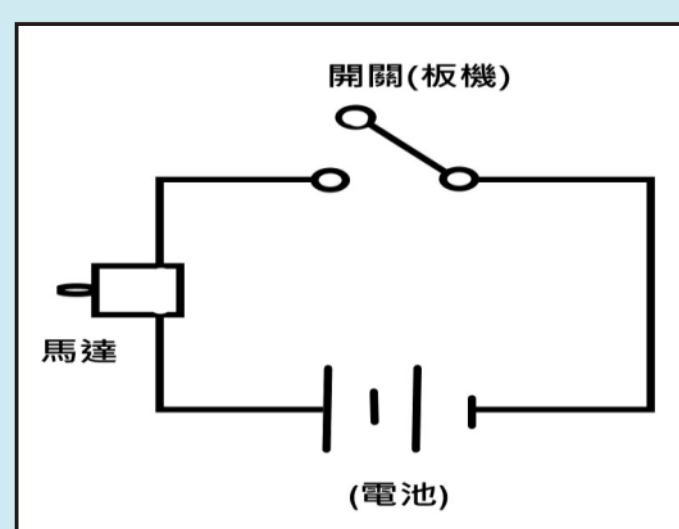
組裝的減速馬達軸(1)與軸(2)產生的拉力皆高於完全擊發拉力(233公克)，非常適合做為滾輪式機槍連動結構。

(三)電動板機：

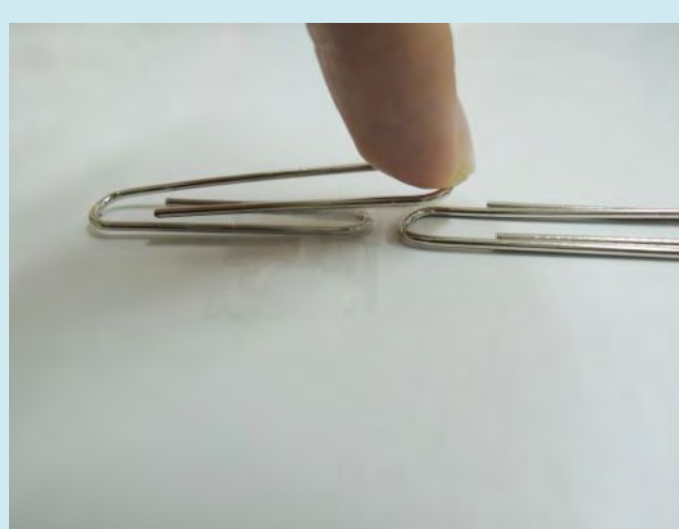
板機是控制槍枝發射的重要結構，而橡皮筋連發數量的多寡便是由板機控制，我們希望以簡單的方式自製電動板機以及連接減速馬達的收線系統。

製作過程：

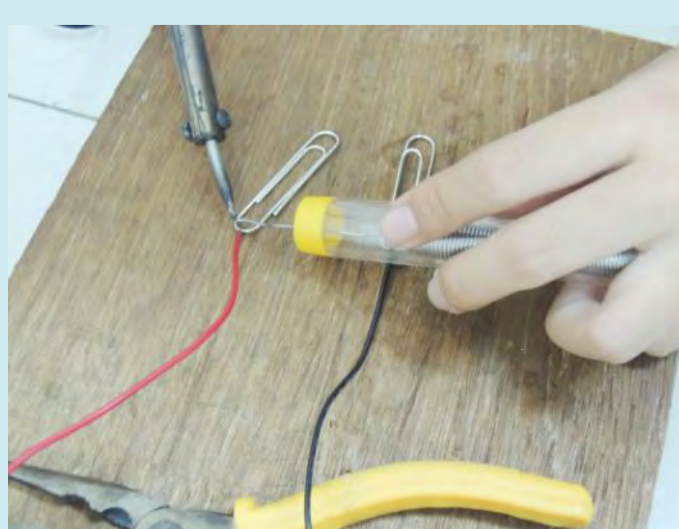
- 1.兩根大迴紋針做為板機開關，其中一根調整為L型。(圖30)
- 2.迴紋針分別接上電線並且連接電池座，接點利用落鐵焊接加強導電性及耐用程度。(圖31)
- 3.將焊接好的迴紋針開關及電線固定於槍身的握把上做為板機。(圖32)
- 4.完成全自動滾輪式機關槍。



(圖29)板機電路圖



(圖30)迴紋針板機



(圖31)落鐵焊接



(圖32)板機固定握把

(四) 全自動機關槍射速測試：

- 1、利用馬達帶動拉線發射橡皮筋。
- 2、測試8發、32發、72發、120發的連發效果。
- 3、用碼錶記錄時間，四捨五入至小數第二位。

從表(十三、十四) 減速馬達軸(1)(2)射速測試記錄得知：

- 1.全自動機關槍射速穩定，平均接近。
- 2.軸(1)單發射速總平均為0.25秒。平均每秒4發。
- 3.軸(2)單發射速總平均為0.46秒。平均每秒2發。

表十三、減速馬達軸(1)射速測試記錄。

全自動機關槍	8發	32發	72發	120發
全部擊發時間(s)				
第一次	1.82	7.88	17.91	30.24
第二次	1.97	7.56	18.25	29.25
第三次	2.06	8.05	18.13	31.56
完全擊發射速平均	1.95	7.83	18.10	30.35
單發射速平均	0.24	0.24	0.25	0.25

表十四、減速馬達軸(2)射速測試記錄。

全自動機關槍	8發	32發	72發	120發
全部擊發時間(s)				
第一次	3.76	14.72	33.43	55.38
第二次	3.54	13.95	31.97	53.29
第三次	3.83	14.52	33.31	53.73
完全擊發射速平均	3.71	14.40	32.90	54.13
單發射速平均	0.46	0.45	0.46	0.45

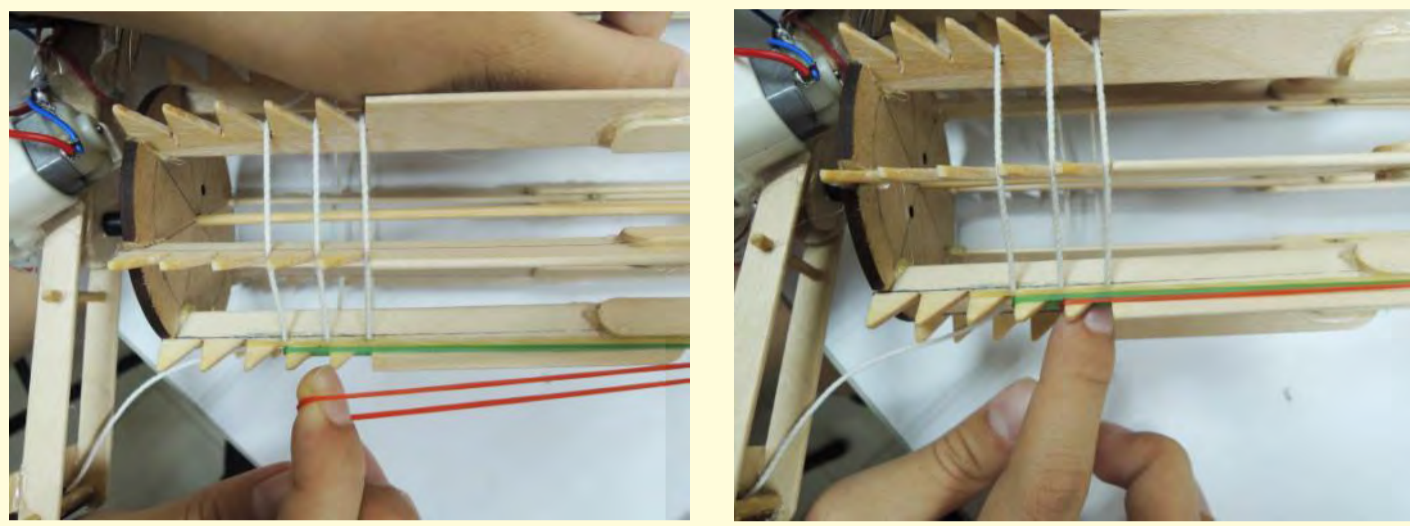
綜觀上述實驗結果得知：

- 1.一般馬達轉速快但扭力小，但經過齒輪的轉換便可以大大的提升扭力、拉力。
- 2.我們選用的減速馬達模組經過計算後軸(1)可產生594公克的拉力；軸(2)可產生1782的拉力。
- 3.減速馬達模組軸(1)平均每秒可射擊4發橡皮筋。
- 4.減速馬達模組軸(2)平均每秒可射擊2發橡皮筋。

五、探討快速裝填橡皮筋的可行性

雖然連發機關槍能一次擊發大量橡皮筋，但在發射前必須手動一條一條的掛上橡皮筋，過程不但繁瑣、複雜更會花費許多時間，所以我們希望製作快速裝彈輔助器解決填裝橡皮筋時的困擾。

(一) 手動裝橡皮筋：實驗步驟：如圖(33、34)



(圖33)手動裝橡皮筋

(圖34)掛上掛勾

表十五、手動裝彈成效記錄。

次數	數量	8發	40發	80發	120發
第一次		26	144	302	474
第二次		28	153	295	486
第三次		25	147	297	463
平均(秒)		26.3	148	298	474
單條平均(秒)		3.3	3.7	3.7	4.0

(二) 快速裝彈輔助器：

- 1.利用竹筷子與鴨舌板製作滑軌。
- 2.鴨舌板製作握把，並再適當的位置上鑽孔鎖上螺絲、螺帽製作活動關節。
- 3.將牙籤分成小段，固定在適當位置上，做為凹槽。
- 4.橡皮筋利用快速裝彈輔助器套上滾輪式槍管。

表十六、快速裝彈成效記錄。

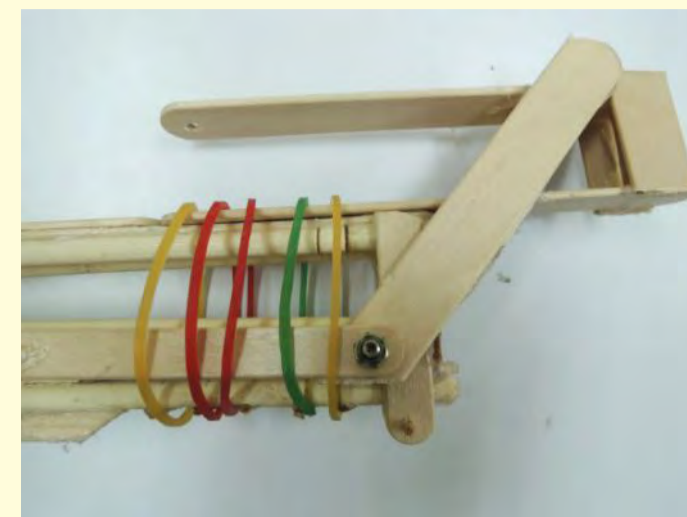
次數	數量	8發	40發	80發	120發
第一次		83	97	185	277
第二次		87	108	192	281
第三次		89	105	182	272
平均(秒)		86	103	186	277
單條平均(秒)		10.8	2.6	2.3	2.3

從表(十五、十六) 裝彈成效記錄得知：

- 1.手動套橡皮筋平均每條橡皮筋都在3.5秒以上，掛上120發大約要花上8分鐘的時間才能套完，若想再增加橡皮筋的數量套掛的時間還要再加長。
- 2.快速裝彈輔助器一次就能將橡皮筋套上整排掛勾，若一次只套一個掛勾效果會比手動的差。



(圖35)快速裝彈輔助器



(圖36)裝入橡皮筋



(圖37)對準凹槽



(圖38)橡皮筋掛上槍管

綜觀上述實驗結果可獲至以下結論：
若要套掛大量的橡皮筋，使用快速裝彈輔助器是很好的方法，大約可比手動套掛橡皮筋節省約一倍時間。

六、探討連發機關槍結合藍芽晶片遠端遙控的可行性

遙控的方法有很多種類，紅外線、無線電、藍芽、GPS.....等，我們採用同學上機器人課的Arduino Uno晶片、藍芽控制器及寫好的程式結合全自動機關槍。

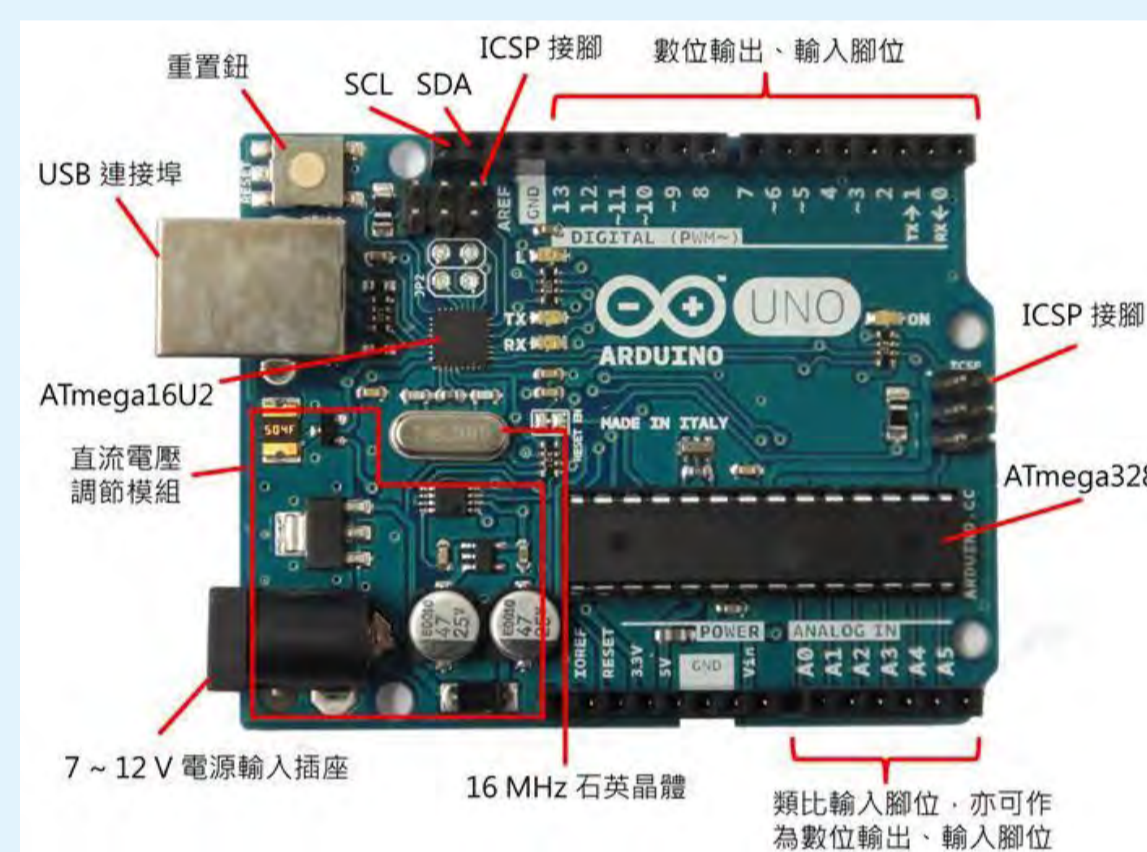
Arduino Uno晶片：

Arduino Uno晶片為目前是世界最受歡迎的程式設計晶片之一，只要原因是 1.價格便宜 2.功能強大 3.程式設計難度較低，小朋友也能在練習後上手。

Arduino軟體的開發環境可在網上免費下載，而Arduino的電路設計圖也可從官方網站自行下載，依據自身之需求進行修，但須要符合創用CC授權條款(創用CC授權條款)。

在以往的硬體環境中，要開發微控制器的程式，開發者需要具備電子、電機及相關科系的背景，一般人需花費大量時間能有機會進入這個開發環境中；而Arduino的學習門檻較為簡單且擁有多方面的參考資料，不需要電子電機相關科系的背景，也可以很容易學會Arduino相關互動裝置的開發。由於Arduino以公開共享為基礎，多數人都樂於分享自己的創作品，網路上能找的創作案子也非常豐富。以此為基礎，有時只需要參考分享者的作品，依據自身的需求進行調整，往往就可以在短時間內完成屬於自己的創作。

Arduino主要可區分為三大類，分別是Arduino硬體、Arduino軟體及Arduino擴充原件



微控制器	ATMEGA328
工作電壓	5V
輸入電壓(推薦)	7-12V
輸入電壓(限制)	6-20V
數字I/O接腳	14 (6個提供PWM輸出)
模擬輸入接腳	6支
EEPROM	1 KB (ATMEGA328)
盪速度	16 MHz

(一) 自製自走車

無人駕駛與遙控駕駛是許多國家科技研發的熱門議題，在此我們也希望與世界的潮流接軌，希望將連發機關槍裝載於車台上，並且利用Arduino Uno晶片、藍芽控制器及手機遙控操作車台。

製作過程：

- 1.使用線鋸切割密底板，製做車身、車架、升降台。(圖39)
- 2.利用冰棒棍製作升降馬達座及晶片座。
- 3.在適當的位置上用鉛筆標記，並且利用手工鑽穿孔。(圖40)
- 4.裝上馬達，並用螺絲、螺帽鎖上固定。
- 5.升降馬達軸心裝上棉線控制升降台。
- 6.裝上Arduino Uno晶片並連接馬達。



(圖39)線鋸切割密底板



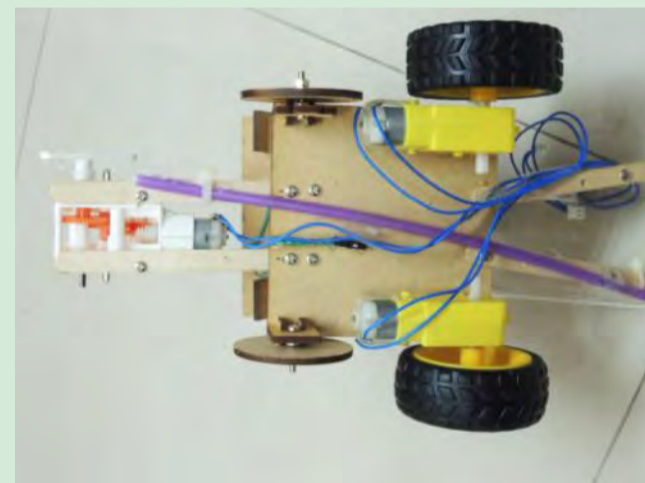
(圖40)利用手工鑽穿孔



(圖41)升降台馬達



(圖42)馬達裝上輪胎



(圖43)自走車背面



(圖44)自走車連接晶片



(圖45)自走車完成圖

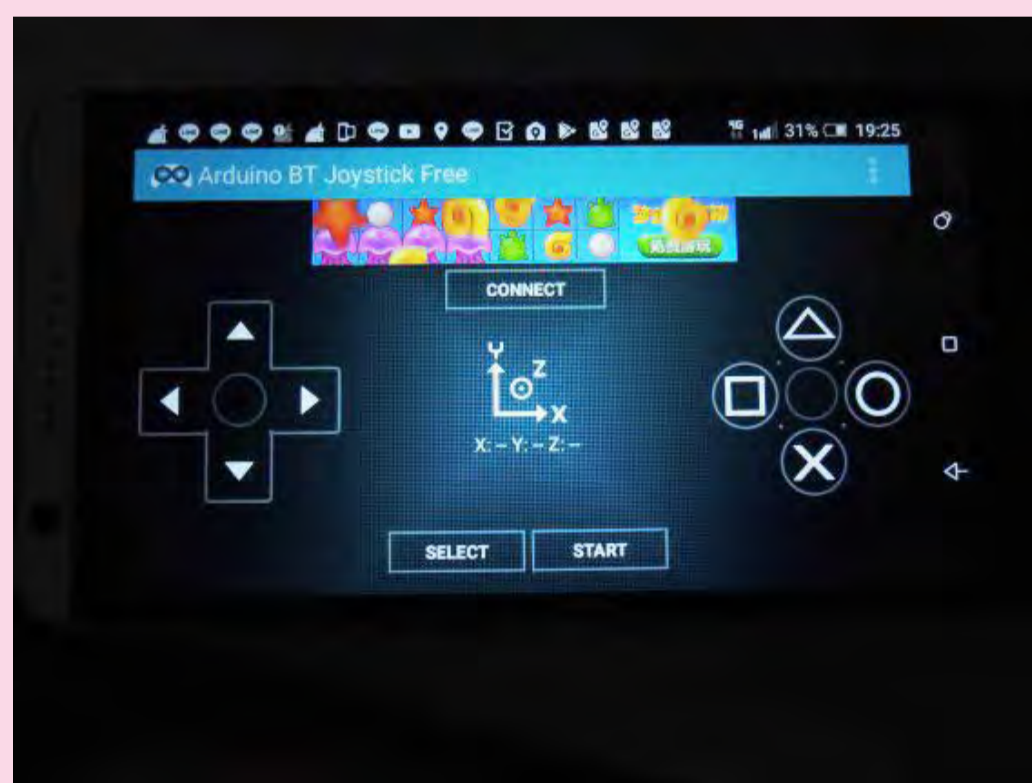


(圖46)揚起升降台

(二) 機關槍結合自走車

製作過程：

- 1、將全自動機關槍架設在自走車上方。
- 2、全自動機關槍馬達連接Arduino晶片。
- 3、下載手機遙控程式App。(圖51)
- 4、完成遠端遙控機槍並觀察測試遠端操控情形。



(圖51)手機遙控程式App介面



(圖52)完成品

伍、結論

- 一、市面常見的橡皮筋以美力牌橡皮筋的射程最遠、彈力最大。
- 二、橡皮筋彈力大小與拉力無關，而是與疲乏程度有關。
- 三、拉線效果非常好，在任何角度下都能擊發，尤其在0°時最為省力，拉力只要233公克就能完全擊發。
- 四、外顯式掛勾前後長度相等，擊發時會發生卡彈現象；若採用遞增方式排列則會發生掛勾變形無法繼續使用情況發生，不適合做為滾輪是機關槍的槍管結構；隱藏式掛勾堅固不易變形，擊發時順暢不會發生卡彈現象，精準度也比外顯式掛勾槍管高，非常適做為滾輪式機關槍的結構。
- 五、一般馬達轉速快但扭力小，但經過齒輪的轉換便可以大大的提升扭力、拉力。
- 六、減速馬達模組軸(1)平均每秒可射擊4發橡皮筋；軸(2)平均每秒可射擊2發橡皮筋。
- 七、若要套掛大量的橡皮筋，使用快速裝彈輔助器是很好的方法，大約可比手動套掛橡皮筋節省約一倍時間。
- 八、Arduino晶片與藍芽控制器確實能與全自動機關槍結合。

陸、討論

- 1、製作滾輪槍管時若能採用雷射切割作品會更加的精緻完美。
- 2、橡皮筋屬於不易分解的物質，若未回收使用或妥善處理將會造成環境上的危害。所以利用環保材料做為替代品可以深入研究。
- 3、Arduino晶片功能很多例如紅外線感應、超音波感應.....等，若能連結全自動機槍會有很大的突破。

柒、參考資料及其他

- Y. C. Fung (馮元植), Foundations of Solid Mechanics, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1965
- A.C. Ugural, S.K. Fenster, Advanced Strength and Applied Elasticity, 4th ed 麻省理工學院物理系視聽教學：經典力學1999。
<https://zh.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- O'REILLY歐萊禮原文繁體中文翻譯書 - 踏進互動科技世界使用Arduino
- ChiuHao Chen. OPEN的力量：ARDUINO開放硬體計畫。[2016-03-06].
<http://www.arduino.cn/thread-1066-1-1.html>
- <http://www.powenko.com/en/doc-listings/powenko-arduino-tutorials/Potential Energy - The Physics Classroom>.
- <http://www.physicsclassroom.com/class/energy/u5l1b.cfm>
- Elastic energy — http://en.wikipedia.org/wiki/Elastic_energy
- Young's modulus — http://en.wikipedia.org/wiki/Young%27s_modulus
- Thornton, S. T. and Marion, J. B. (2008), Classical Dynamics of Particles and Systems, fifth edition, Brooks Cole
<http://phy.ntnu.edu.tw/nstsc/index1.htm> 科教網