

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030115

消聲匿跡

學校名稱：桃園市立大成國民中學

作者： 國二 黃郁智 國二 何芝音	指導老師： 黃永定
-------------------------	--------------

關鍵詞：聲音、氣壓

摘要

我們用不同面向探討可能影響氣槍聲音大小的變因，卻發現預設變因中，只有扣下板機的速度是重要的，其它的變因氣壓不同、槍管長度、槍管粗細、氣壓腔大小等竟然和預期的不同，沒有什麼明顯的影響力。

我們希望保持氣槍的威力，並同時降低槍聲的音量，參考相關設備及文獻後，提出不同解決方案，但因為自製氣槍的子彈是套在槍管外，與一般內嵌式的槍隻不同，導致一般使用的方法並不適用於此，最終發現加上外套管即能有效地降低音量，並提高射程。

壹、研究動機

有一天，我們到實驗室時，聽到一聲爆炸似的聲響，急忙跑去一探究竟，看到老師在玩一把他自製的空氣槍，我們興奮的跑上前東摸摸西看看，還試射了好幾發，威力十足，甚至可以從實驗室打到對面大樓呢！

但是，很快的，我們發現了一個問題，那就是：聲音實在是太大聲了！當扣下板機時，高壓的空氣推動子彈發射出去，連帶的發出極大的聲響，不但會對耳朵造成負擔，也會影響到附近的教室，正好我們剛學完波動與聲音，我們知道聲音的來自空氣的振動，而音量取決於振幅，子彈要打的遠，要很大的氣體擠壓，同時也造成了巨大的聲音，於是乎，我們在想有沒有可能製作一把無聲的氣槍呢？

為了解決這個難題，我們先上網查了和消音器有關的資料，發現有打洞和增加回流腔兩種做法，但很可惜的是，那些都是汽機車或內縮式槍械的消音器，卻沒一個是我們這種外套式子彈專用的消音器，有沒有用也不知道，於是，我們的科展研究的題目就決定了。

貳、研究目的

- 一、研究高壓氣體膨脹時，產生的聲音。
- 二、研究氣槍的子彈射程及槍聲音量與各控制變因間的關係，找出最佳測量條件。
- 三、研究如何把氣槍的槍聲音量降低。
- 四、實驗結果假設之驗證

實驗流程圖

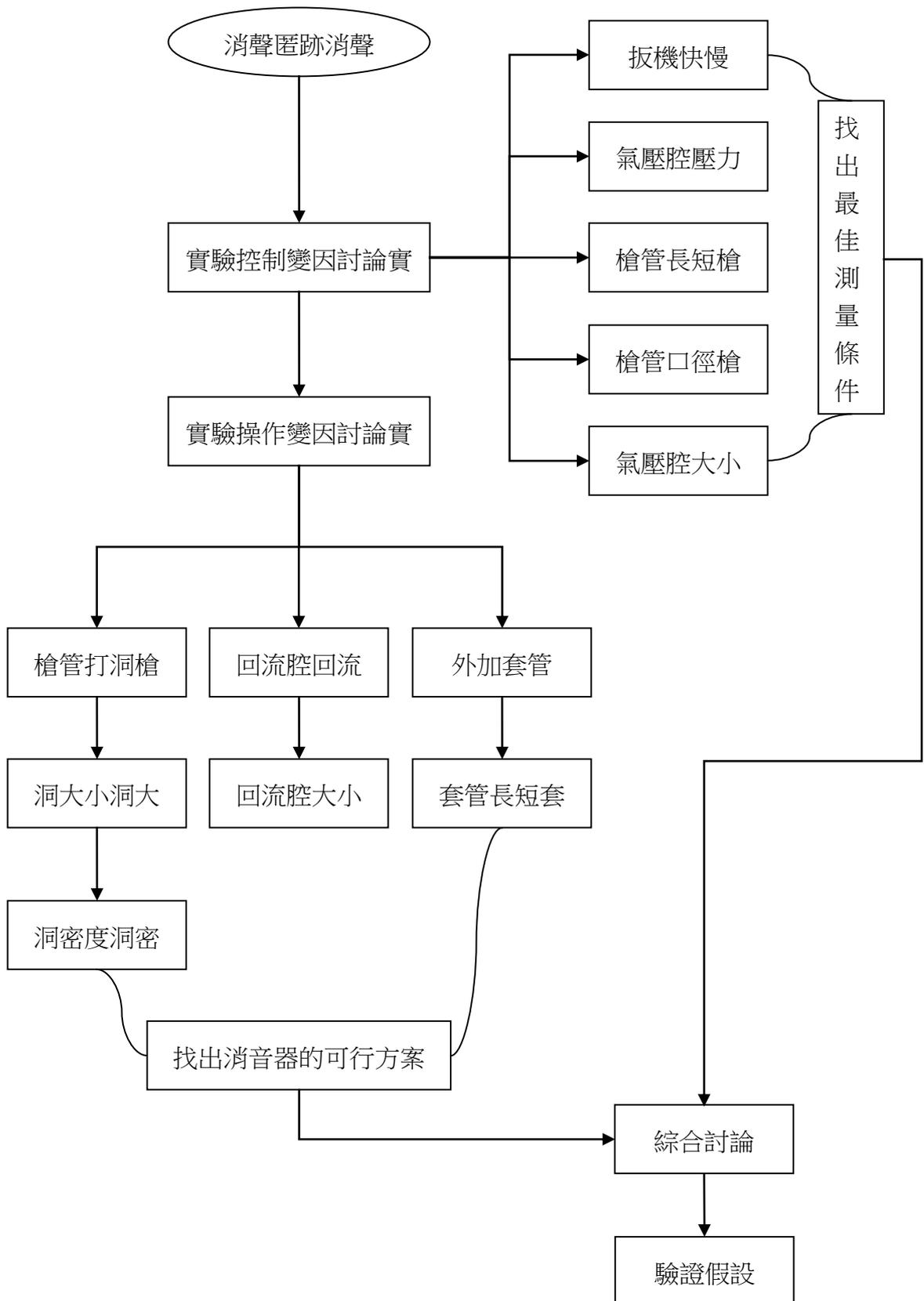


圖 1-實驗流程圖

參、研究設備及器材

一、PVC 水管(1吋、0.75吋(6分)、0.5吋(4分))



二、金屬球閥



三、逆止閥



四、氣壓計(1MPa)



五、打氣筒



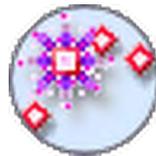
六、麥克風



七、電腦(使用軟體 Audacity)



八、電腦(使用軟體 tracker)



九、童軍繩



十、砝碼



十一、捲尺



氣槍製作第一版

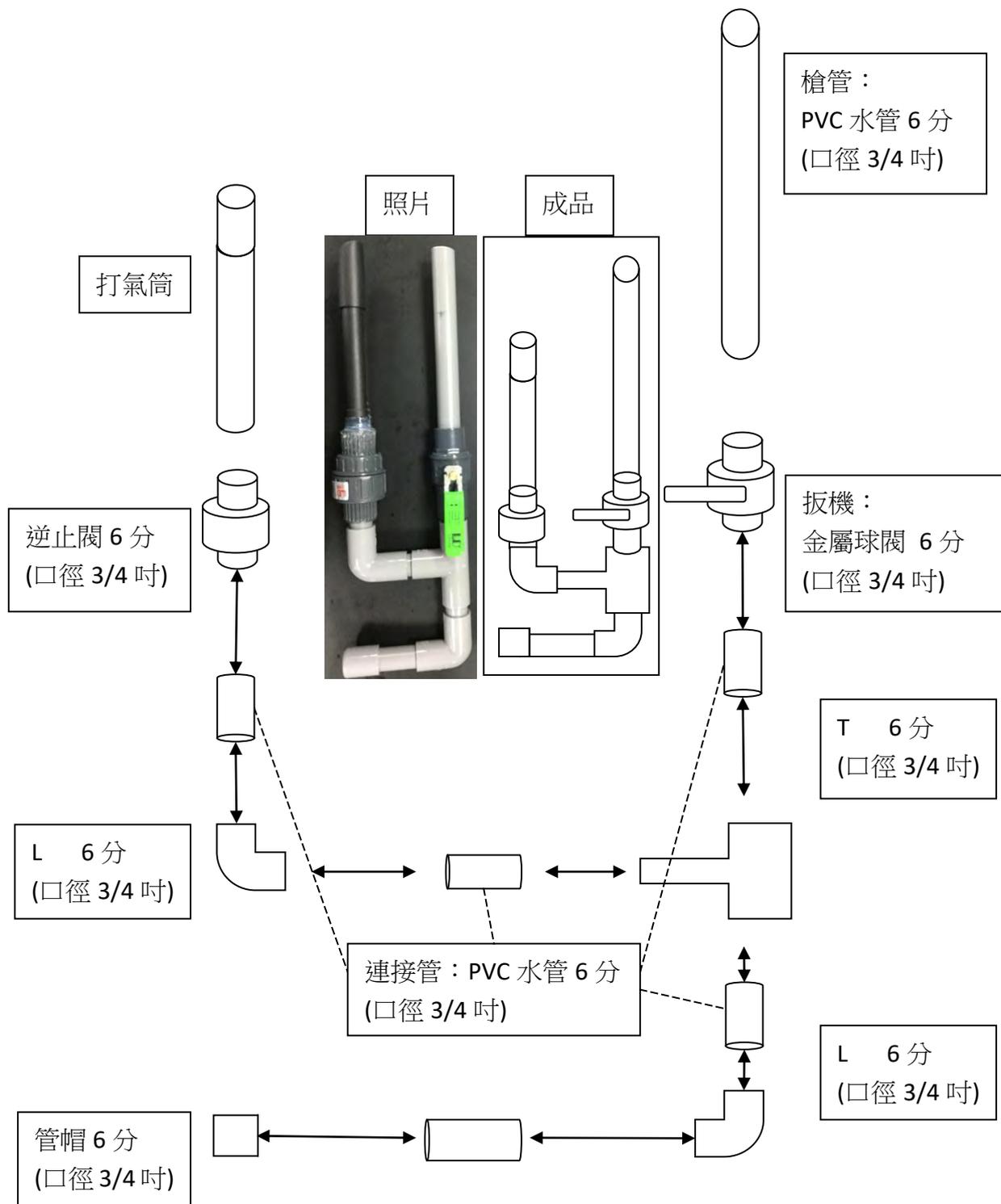


圖 2-氣槍製作第一版(老師教我們做的)

氣槍製作第二版

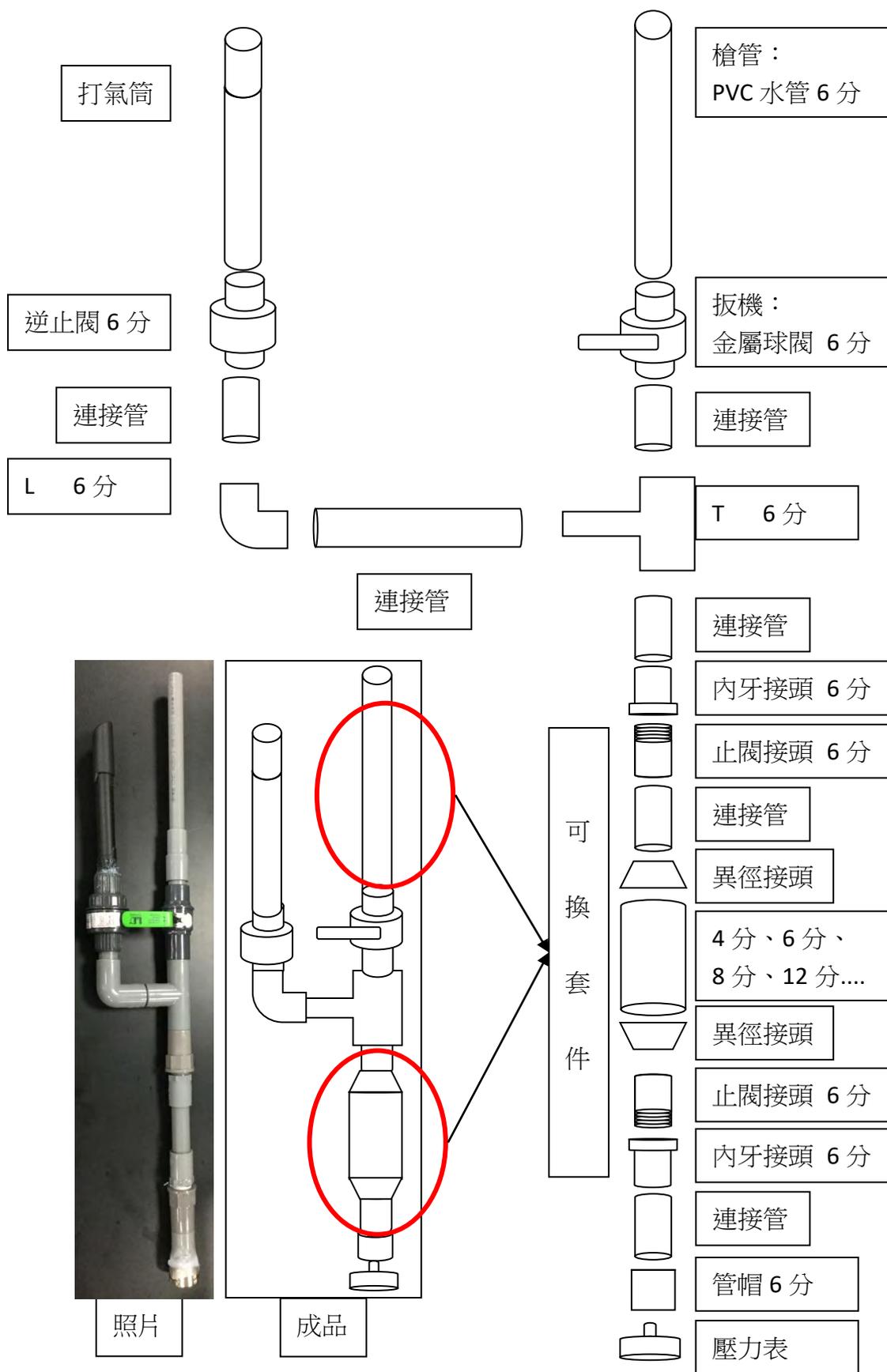


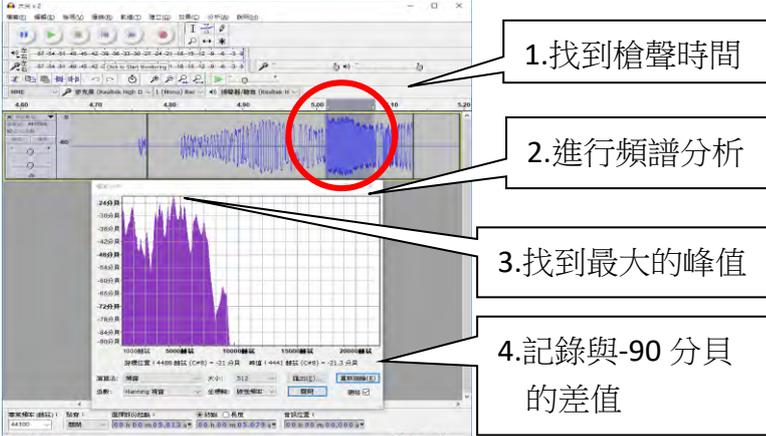
圖 3-氣槍製作第二版(我們設計出來方便研究用)

肆、研究過程或方法

一、資料處理

(一)、音量大小

1、使用 Audacity 進行頻譜分析



1. 找到槍聲時間

2. 進行頻譜分析

3. 找到最大的峰值

4. 記錄與-90 分貝的差值

2、

(二)、影片處理計算板機時間

- 1、使用攝影機對準板機以高速攝影(120FPS)模式進行攝影取後影片檔。
- 2、使用播放軟體進行格放，記錄起始與結束的時間間隔。



1. 以手指完全離開為起始時間

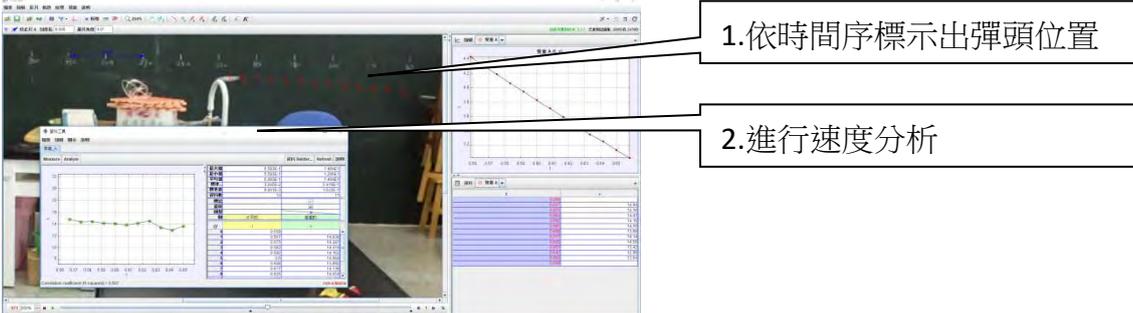
2. 以繩子完全離開為結束時間

3、起始

結束

(三)、影片處理計算初速

- 1、使用攝影機以高速攝影(120FPS)模式進行攝影取後影片檔。
- 2、使用影像追蹤分析軟體 Tracker，分析子彈初速。



1. 依時間序標示出彈頭位置

2. 進行速度分析

3、

二、實驗控制變因討論

(一)、扳機快慢

利用砝碼與童軍繩製作一個可以固定力量的發射座，設置如下圖所示。



(其它變因設定為 0.2MPa、30cm 長口徑 6 分的槍管、氣壓腔大小為 85mL)

- 1、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，把氣體釋放出來。
- 2、分別使用 2000 公克重、2500 公克重、3000 公克重、3500 公克重、5000 公克重不同重量的砝碼進行實驗。
- 3、利用手機在旁邊攝影，再透過慢動作回播，來得到扳機快慢。
- 4、把麥克風設置在槍口旁邊 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 5、測量子彈射程。

(二)、氣壓腔壓力

根據「扳機快慢 v.s 音量」的實驗結果，我們選擇利用 5000 公克重砝碼與童軍繩製作一個可以固定力量(等同於固定扳機快慢)的發射座。

(其它變因設定為 30cm 長口徑 6 分的槍管、氣壓腔大小為 85mL)

- 1、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，把氣體釋放出來。
- 2、分別使用 0.2MPa、0.3MPa、0.4MPa 不同的氣壓腔壓力進行實驗。
- 3、把麥克風設置在槍口旁邊 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 4、測量子彈射程。

(三)、槍管長短

根據「扳機快慢 v.s 音量」及「氣壓腔壓力 v.s 音量」的實驗結果，我們選擇利用 5000 公克重砝碼進行擊發及施加壓 0.2MPa。進行下列不同槍管長度的實驗。

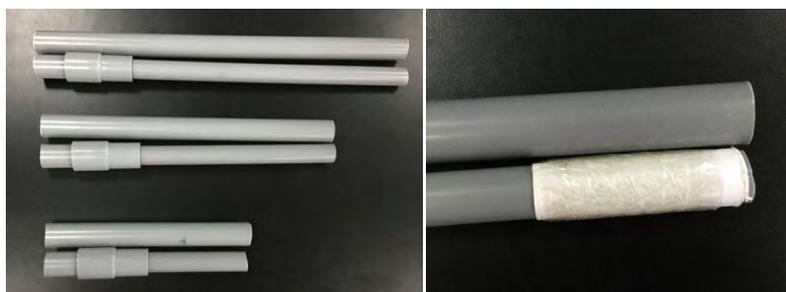


(其它變因設定為口徑 6 分的槍管、氣壓腔大小為 85mL)

- 1、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，進行擊發。
- 2、分別使用 10cm、20cm、40cm 不同的槍管長短進行實驗。
- 3、把麥克風設置在槍口左方 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 4、測量子彈射程。

(四)、槍管口徑

根據以上的實驗結果，我們選擇利用 5000 公克重砝碼進行擊發及施加壓 0.2MPa。進行下列不同口徑及長度槍管的實驗。(氣壓腔大小為 85mL)



- 1、在 4 分管上，先加裝一利用紙張及膠帶製作而成的套子，目的是為了使用相同口徑的子彈，才可以比較結果。
- 2、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，進行擊發。
- 3、分別使用 10cm(加上轉接的部分，則為 20cm)、20cm(加上轉接的部分，則為 30cm)、30cm(加上轉接的部分，則為 40cm) 不同的長度的 4 分槍管進行實驗
- 4、把麥克風設置在槍口左方 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 5、測量子彈射程。

(五)、氣壓腔大小

根據以上的實驗結果，我們選擇使用 6 分的 30 公分槍管，並利用 5000 公克重砝碼進行擊發及施加壓 0.2MPa。進行下列不同氣壓腔的實驗。

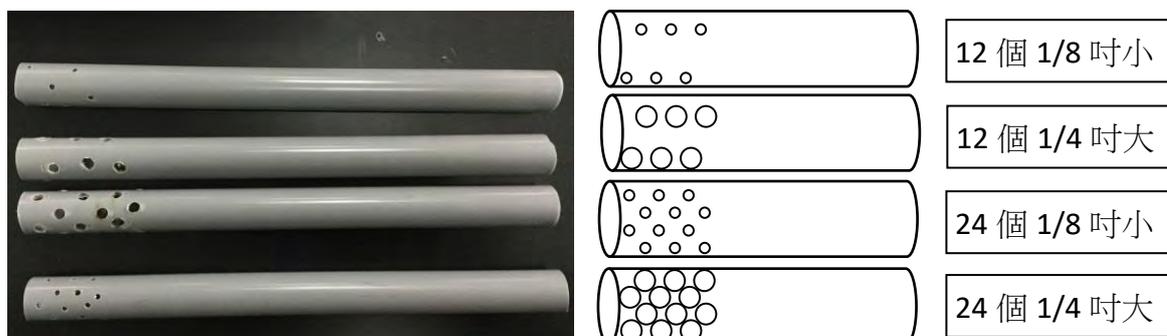


- 1、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，進行擊發。
- 2、分別使用 85ml、200ml 不同的氣壓腔大小進行實驗
- 3、把麥克風設置在槍口左方 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 4、測量子彈射程。

三、實驗操作變因討論

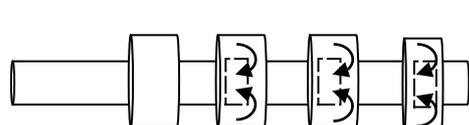
(一)、槍管打洞大小的消音效果

- 1、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，進行擊發。
- 2、分別使用大洞疏、大洞密、小洞疏、小洞密不同的槍管進行實驗
- 3、把麥克風設置在槍口左方 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 4、測量子彈射程。

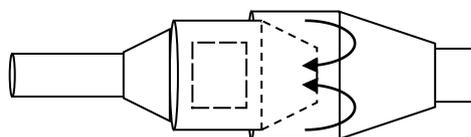


(二)、槍管內部回流腔的消音效果

- 1、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，進行擊發。
- 2、分別使用大小不同的回流腔大小進行實驗
- 3、把麥克風設置在槍口左方 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 4、測量子彈射程。



小回流腔



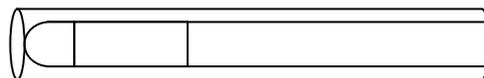
大回流腔

(三)、槍管外加套管的消音效果

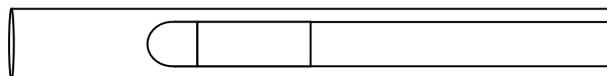
- 1、在釋放砝碼後，會扯動金屬球閥的開關，進行擊發。
- 2、分別使用 130cm、75cm、40cm 不同的套管長度進行實驗
- 3、把麥克風設置在槍口左方 20 公分處，來得到槍聲的音量。
- 4、測量子彈射程。



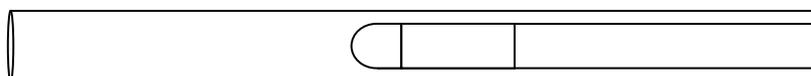
40cm 套管



75cm 套管



130cm 套管



伍、研究結果

一、實驗控制變因討論

(一)、扳機快慢

30 公分長、6 分槍管、0.2MPa、85mL 氣壓腔							
2000 公克砝碼	1	2	3	4	5	平均	標準差
扳機快慢(秒)	1.091	0.966	0.536	1.037	0.734	0.873	0.232
槍聲音量(分貝)	55	58.3	62.8	56.7	57.7	58.1	2.91
子彈射程(公分)	315	315	315	315	315	315	0
2500 公克砝碼	1	2	3	4	5	平均	標準差
扳機快慢(秒)	0.293	0.262	0.232	0.242	0.246	0.255	0.024
槍聲音量(分貝)	61.8	60.8	61.5	60.1	59.2	60.68	1.06
子彈射程(公分)	440	512	495	510	495	490.4	29.29
3000 公克砝碼	1	2	3	4	5	平均	標準差
扳機快慢(秒)	0.201	0.215	0.243	0.208	0.201	0.214	0.017
槍聲音量(分貝)	65	60.2	63.4	64.2	64.7	63.5	1.94
子彈射程(公分)	570	570	495	605	589	565.8	42.19
3500 公克砝碼	1	2	3	4	5	平均	標準差
扳機快慢(秒)	0.162	0.175	0.16	0.143	0.158	0.160	0.011
槍聲音量(分貝)	65	65.5	63.5	64.9	65.7	64.92	0.86
子彈射程(公分)	635	625	650	685	625	644	25.09
5000 公克砝碼	1	2	3	4	5	平均	標準差
扳機快慢(秒)	0.124	0.124	0.123	0.122	0.117	0.122	0.003
槍聲音量(分貝)	66	65.8	71.4	70.8	63.5	67.5	3.44
子彈射程(公分)	815	735	795	735	705	757	46.04

表 1-扳機快慢

(二)、氣壓腔壓力

5000 公克砝碼、10 公分長、6 分槍管、85mL 氣壓腔							
0.2MPa 的壓力	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	71.2	72	71.8	74.3	69.7	71.8	1.66
子彈射程(公分)	720	730	510	640	640	648	88.1476
0.3MPa 的壓力	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	71.3	72.3	72.6	75.4	74.2	73.16	1.63
子彈射程(公分)	810	770	920	710	770	796	77.96435
0.4MPa 的壓力	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	73.5	71.7	73.1	73.2	74.3	73.16	0.94
子彈射程(公分)	870	695	730	710	650	731	83.09633

5000 公克砝碼、30 公分長、6 分槍管、85mL 氣壓腔							
0.2MPa 的壓力	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	75	74.5	72.9	72.2	75.1	73.94	1.31
子彈射程(公分)	770	765	770	695	810	762	41.6233
0.3MPa 的壓力	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	68.8	71.8	71.5	72.7	74.1	71.78	1.95
子彈射程(公分)	990	920	860	840	965	915	64.8074
0.4MPa 的壓力	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	71.8	70.5	72	71.5	68.9	70.94	1.28
子彈射程(公分)	930	1020	970	1060	1020	1000	50.4975
0.5MPa 的壓力	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	70.9	71.9	72.3	71.6	70.9	71.52	0.62
子彈射程(公分)	910	820	930	910	910	896	43.3589

表 2-氣壓腔壓力

(三)、槍管長短

5000 公克砝碼、6 分槍管、0.2MPa、85mL 氣壓腔							
10cm 的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	71.2	72	71.8	74.3	69.7	71.8	1.66
子彈射程(公分)	720	730	510	640	640	648	88.15
20cm 的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	70.9	70	73.7	77.7	72.4	72.94	3.01
子彈射程(公分)	565	534	591	550	470	542	45.39
30cm 的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	75	74.5	72.9	72.2	75.1	73.94	1.31
子彈射程(公分)	770	765	770	695	810	762	41.62
40cm 的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	65.4	64.2	67.6	66.1	65.5	65.76	1.24
子彈射程(公分)	420	395	455	405	393	413.6	25.49
5000 公克砝碼、4 分槍管、0.2MPa、85mL 氣壓腔							
20cm 的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	72.9	72.5	72.9	73.6	73.3	73.04	0.42
子彈射程(公分)	487	500	525	503	575	518	34.66987
30cm 的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	73	72.9	73.3	75.3	73	73.5	1.02
子彈射程(公分)	591	515	496	493	510	521	40.20
40cm 的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	69.9	72.6	74.8	75	74	73.26	2.10
子彈射程(公分)	530	480	580	585	540	543	42.66146

表 3-槍管長短

(四)、槍管口徑

5000 公克砝碼、20 公分槍管、0.2MPa、85mL 氣壓腔							
4 分的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	72.9	72.5	72.9	73.6	73.3	73.04	0.42
子彈射程(公分)	487	500	525	503	575	518	34.66987
6 分的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	70.9	70	73.7	77.7	72.4	72.94	3.01
子彈射程(公分)	565	534	591	550	470	542	45.39
5000 公克砝碼、30 公分槍管、0.2MPa、85mL 氣壓腔							
4 分的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	73	72.9	73.3	75.3	73	73.5	1.02
子彈射程(公分)	591	515	496	493	510	521	40.20
6 分的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	74.7	71.6	70.3	73	73	72.52	1.66
子彈射程(公分)	565	507	553	600	513	547.6	38.48
5000 公克砝碼、40 公分槍管、0.2MPa、85mL 氣壓腔							
4 分的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	69.9	72.6	74.8	75	74	73.26	2.10
子彈射程(公分)	530	480	580	585	540	543	42.66146
6 分的槍管	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	65.4	64.2	67.6	66.1	65.5	65.76	1.24
子彈射程(公分)	420	395	455	405	393	413.6	25.49

表 4-槍管口徑

(五)、氣壓腔大小

5000 公克砝碼、30 公分長、6 分槍管、0.2MPa							
85ml 的氣壓腔	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	74.3	72.3	73	72.1	75.2	73.3	1.33
子彈射程(公分)	572	546	523	530	510	536.2	23.86
200ml 的氣壓腔	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	73.1	72.8	74.4	72.9	73.6	73.36	0.66
子彈射程(公分)	685	565	650	682	535	623.4	69.21

表 5-氣壓腔大小

二、實驗操作變因討論

(一)、槍管打洞大小的消音效果

5000 公克砝碼、30 公分長、6 分槍管、0.2MPa、85ml 的氣壓腔							
無處理	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	69.4	67.3	68.6	69.5	69.8	68.92	1.01
子彈射程(公分)	700	483	495	594	642	582.8	93.59
12 小洞(1/8 英吋)	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	70.5	71.4	68.6	71.1	73.3	70.98	1.69
子彈射程(公分)	410	490	870	170	341	456.2	259.66
12 大洞(1/4 英吋)	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	68.5	64.6	64.8	N/D	65	65.7	8.92
子彈射程(公分)	5	100	110	5	5	45	54.89
24 小洞(1/8 英吋)	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	70	70.3	71	73.9	69.2	70.88	1.81
子彈射程(公分)	432	515	320	385	575	445.4	101.48
24 大洞(1/4 英吋)	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	69	67.4	67.6	69.6	70.8	68.88	1.42
子彈射程(公分)	1	1	1	1.5	1	1.1	0.22

表 6-槍管打洞

(二)、槍管內部回流腔的消音效果

無套	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	69.6	70.1	67.4	71.8	71.1	70	1.69
子彈射程(公分)	695	600	699	600	699	658.6	53.52
4 分轉 6 分 X 3	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	69.9	72.8	71.6	69.4	72.5	71.24	1.53
子彈射程(公分)	580	700	495	790	889	690.8	157.97
6 分轉 2 吋 X2	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	67	67.6	68.7	65.8	72.1	68.24	2.40
子彈射程(公分)	705	720	714	703	680	704.4	15.27

表 7-槍管內部回流腔

(三)、槍管外加套管的消音效果

無套、0.2MPa	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	70.5	70.3	73.8	73	74.1	72.34	1.82
子彈射程(公分)	799	467	436	685	580	593.4	151.32
40cm、0.2MPa	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	69	67.4	66.1	69.6	71.1	68.64	1.94
子彈射程(公分)	580	543	633	784	658	639.6	92.35
75cm、0.2MPa	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	50.9	43.7	41.9	44.4	55.6	47.3	5.75
子彈射程(公分)	613	703	624	560	503	600.6	74.77

130cm、0.2MPa	1	2	3	4		平均	標準差
槍聲音量(分貝)	39.7	43.3	39.6	36.8		39.85	2.66
子彈射程(公分)	N/D	N/D	N/D	N/D			
無套、0.4MPa	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	70.3	69.5	69.5	75.2	70.5	71	2.39
子彈射程(公分)	684	802	887	590	820	756.6	118.44
75cm、0.4MPa	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	66.9	65	67	65.8	65.4	66.02	0.90
子彈射程(公分)	1015	945	1134	1410	990	1098.8	187.48
130cm、0.4MPa	1	2	3	4	5	平均	標準差
槍聲音量(分貝)	56.9	59.5	55.5	59.5	57	57.68	1.76
子彈射程(公分)	1383	1560	1265	1422	1215	1369	136.03

表 8-槍管外加套管長短

三、實驗結果假設之驗證

(一)、扳機快慢與牛頓力學及運動運的關係

10 公分長、6 分槍管、0.2MPa、85mL 氣壓腔					
	扳機快慢(秒)			平均	標準差
	1	2	3		
1300 公克砝碼	0.909	0.981	1.007	0.966	0.051
1400 公克砝碼	0.503	0.428	0.397	0.443	0.055
1500 公克砝碼	0.313	0.303	0.259	0.292	0.029
1600 公克砝碼	0.26	0.239	0.299	0.266	0.030
1700 公克砝碼	0.207	0.225	0.227	0.220	0.011
1800 公克砝碼	0.257	0.251	0.234	0.247	0.012
1900 公克砝碼	0.244	0.239	0.281	0.255	0.023
2000 公克砝碼	0.23	0.202	0.226	0.219	0.015

表 9-扳機快慢(縮小操作變因差距)

(二)、氣槍子彈初速驗證

10 公分長、6 分槍管、85mL 氣壓腔					
	子彈初速(m/s)			平均	標準差
	1	2	3		
0.2MPa	9.653	8.776	9.467	9.299	0.462
0.3MPa	11.06	10.69	11.07	10.940	0.217
0.4MPa	11.45	11.92	11.79	11.720	0.243
30 公分長、6 分槍管、85mL 氣壓腔					
	子彈初速(m/s)			平均	標準差
	1	2	3		
0.2MPa	9.076	9.513	9.325	9.305	0.219
0.3MPa	10.58	12.06	14.04	12.227	1.736
0.4MPa	14.1	13.96	12.75	13.603	0.742

表 10-氣槍子彈初速

陸、討論

一、實驗控制變因討論

在我們想要製作消音器時，開始上網查了資料，這些巨大的聲音，來自於氣體從小空間的大壓力釋放到出來時，會對外部空氣產生擠壓，所以有這巨大的聲音，而聲音的大小，來自於空氣的振動幅度，如果我們想要做出有效的消音器，應該要先了解氣槍可能會有那些影響槍聲的變因，在把玩氣槍時，大致上推論出以下幾項可能影響的變因：扳機快慢、氣壓腔壓力、槍管長短、槍管口徑、氣壓腔大小，我們就這些變因先行了解。

(一)、扳機快慢

在這一系類實驗中，我們想要把扳機扣下的時間控制好，不要有太多的人為影響，所以我們利用砝碼的重力來拉扳機，藉此把扳機的時間控制住，我們是從 500 公克重的砝碼開始實驗，但力量不夠，我們就以每次加 500 公克重逐步累加上去，一直到 2000 公克重時，才開始拉動扳機。

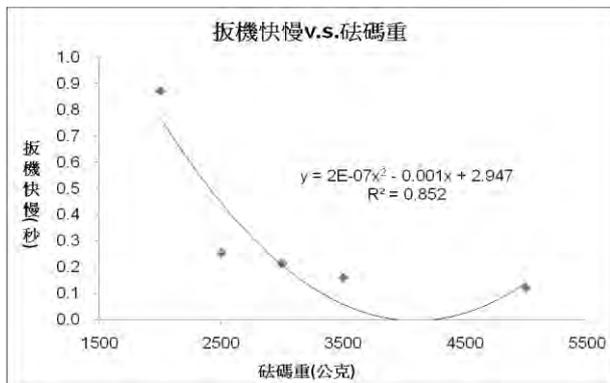


圖 4 扳機快慢與砝碼重

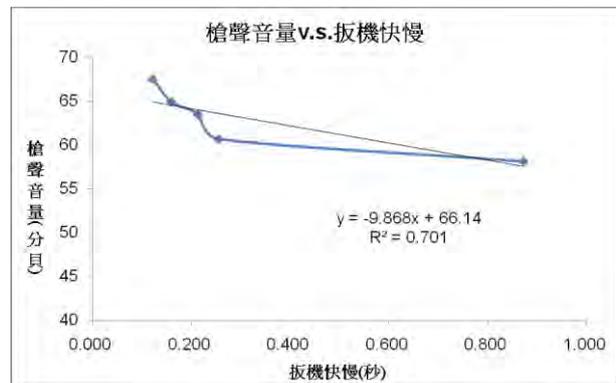


圖 5 扳機快慢與音量

而結果也很符合我們一開始的預期，如圖 4，砝碼越重，扳機就越快，如圖 5，而扳機越快，槍聲就會越大，三者的趨勢是非常清楚的，在 excel 中我們試者要幫圖上加上趨勢線，看看是否有更進一步的資訊，但我們發現，在 2000 公克時，扳機的速度真的慢太多，如果扣掉這一批的數據，會有一條很漂亮的直線出現(圖 6 及圖 7)。

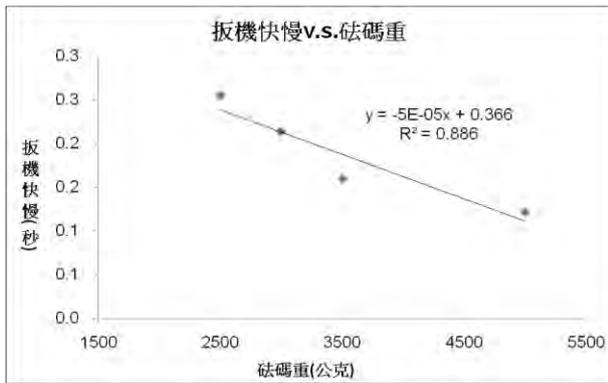


圖 6 扳機快慢與砝碼重(修正)

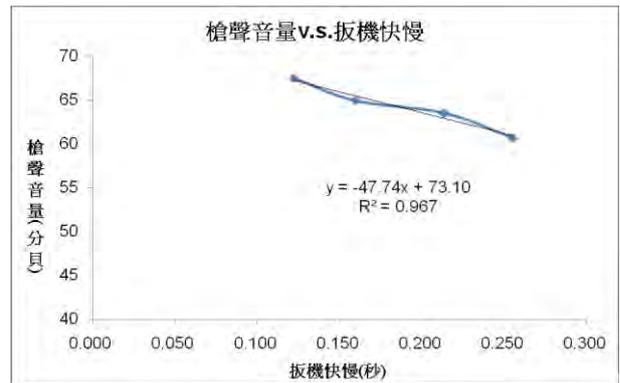


圖 7 扳機快慢與音量(修正)

但我們跟老師討論後，認為這個數據或許是合理的！根據牛頓第二運動定律，我們可以知道力量與加速度之間的關係，力量與加速度成正比（如式 1），

$$\text{力量(N)} = \text{質量(kg)} \times \text{加速度}(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \dots \dots \dots \text{式 1}$$

我們在判定扳機時間，是以扳機被拉動一固定距離所需的時間（如圖 8），

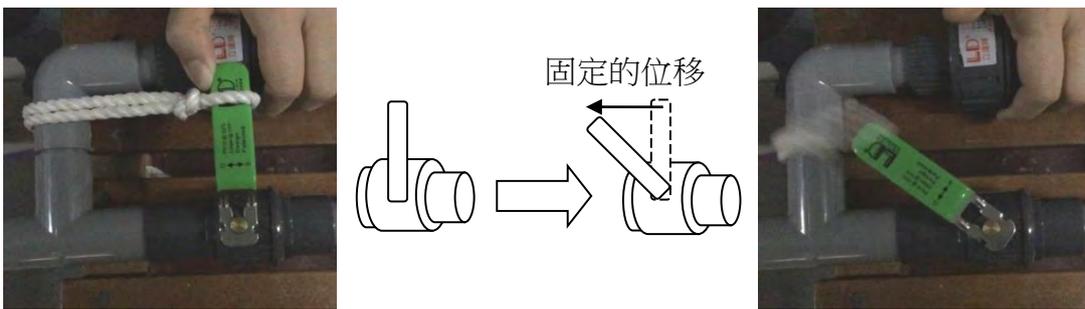


圖 8 扳機時間的計時的開始與結束及其示意圖

而透過運動學中位移與加速度及時間變化量的關係式(如式 2)，我們可以知道當初速為零時，時間與加速度是呈現平方反比，

$$\text{位移(m)} = \text{初速(m/s)} \times \text{時間變化量} + \frac{1}{2} \times \text{加速度(m/s}^2) \times \text{時間變化量}^2(\text{s}^2) \dots \dots \text{式 2}$$

而 2000 公克的加速度可能因為很小，所以所需要的時間，相對的多很多。

我們也試著用 excel 做了平方反比的圖形，再回頭看這兩張圖，真的還很接近！

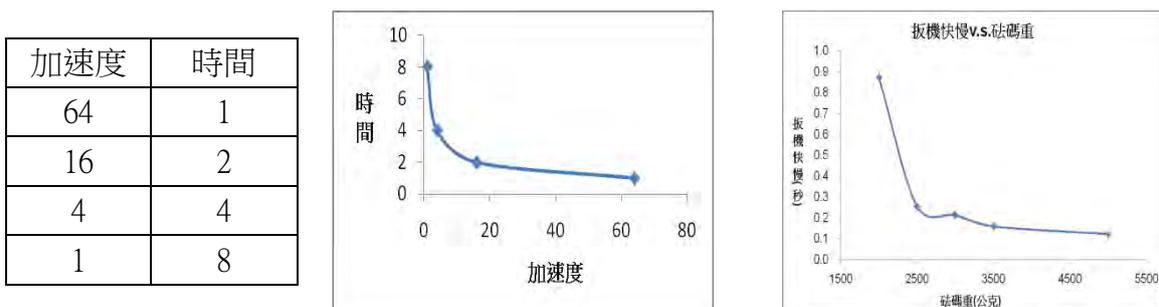


圖 9 虛擬平方反比的數據及圖形與本實驗結果的比較

(二)、氣壓腔壓力

原先我們認為，氣壓越大氣槍的射程以及音量應該都有大幅度的提升，但實際做出來，卻沒有差太多，在射程方面，一開始都有隨著壓力提升而變遠，但是提升到了一個程度，反而開始射不遠（如圖 10），在現場看到的子彈速度感覺是比較快，但相對變的不穩定，衝出去沒多遠就掉下來了。

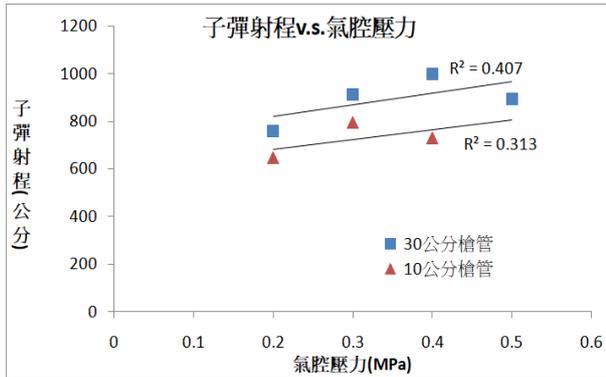


圖 10 氣腔壓力與射程

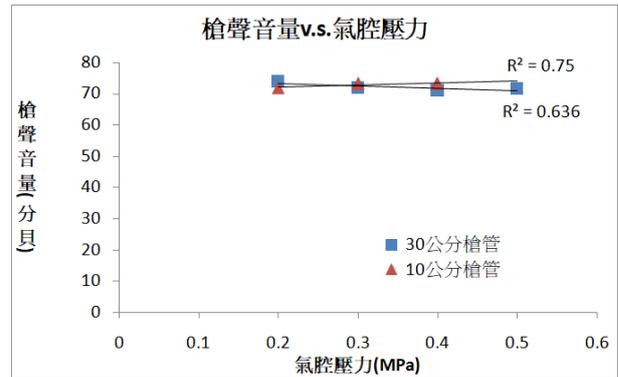
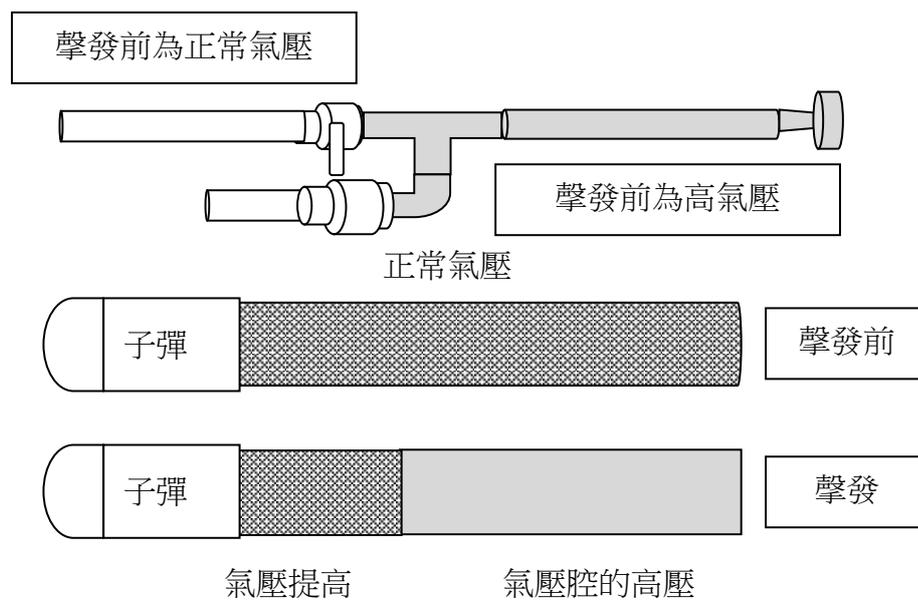


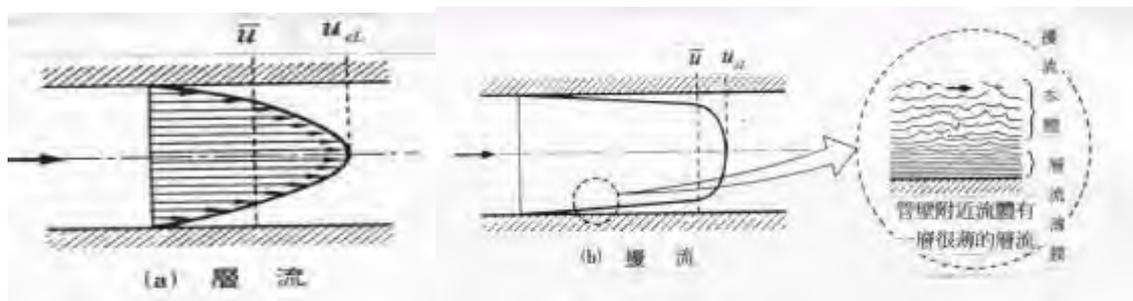
圖 11 氣腔壓力與音量

聲音的部分，我們研究發現壓力的大小對於音量則是沒有差太多（如圖 11），這也讓我們無法理解，徹夜難眠啊，想來想去，會不會是因為管子內原本的空氣呢？在受到高壓氣體推擠時，因為作用時間相差不遠，所以管子內原本的空氣實際上受到的擠壓程度差不多，所以音量也差不多。



但擠壓程度差不多，為什麼子彈還是有遠有近呢？雖然似乎也沒差非常的多，推擠子彈的力量主要來自於高壓氣體，那 0.2MPa、0.3MPa、0.4MPa 應該是約等同於 2atm、3atm、4atm，那射程應該要有明顯的不同才是。

於是我們去查了資料，在流體力學中，有所謂的層流與擾流，流體在管子中流動時，會和管壁產生交互作用，形成擾流，此時會降低有效的層流比例，



(圖片來源：<https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/>

[chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm1/index/c1-3/1-3-5.htm](https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm1/index/c1-3/1-3-5.htm))

而這樣的擾流或許是子彈在高壓擊發後容易不穩定的原因，一般的槍隻有膛線等穩定子彈的設計，但因為我們氣槍子彈是外套式的，並沒有膛線，也因此擾流的影響似乎是難以避免。

(三)、槍管長短

我們照原本的計畫，以槍管長短做為操作變因進行實驗，結果也與上一個實驗「壓力 v.s 音量」的結果相似，音量並沒有很明顯的差別（如圖 12），射程有很大的不穩定性（如圖 13）。

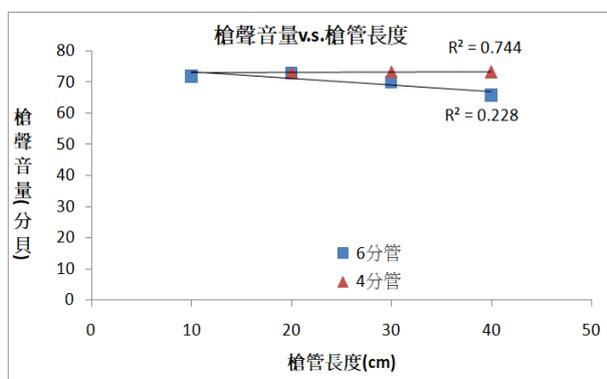


圖 12 槍管長度與音量

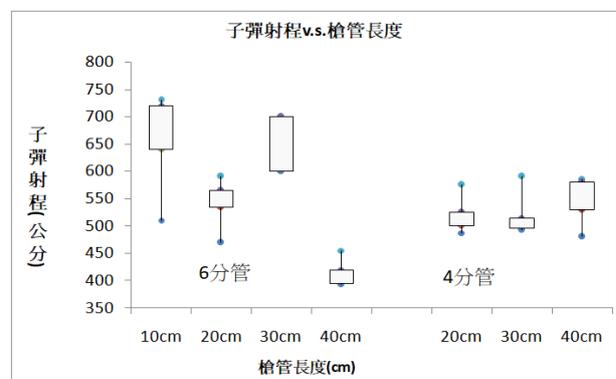


圖 13 槍管長度與射程

(四)、槍管口徑

我們照計畫，把槍管的長短做為操作變因進行實驗，結果也與之前實驗的結果相似，音量沒有很明顯的差別（如圖 14），但射程很不穩定（如圖 15）。

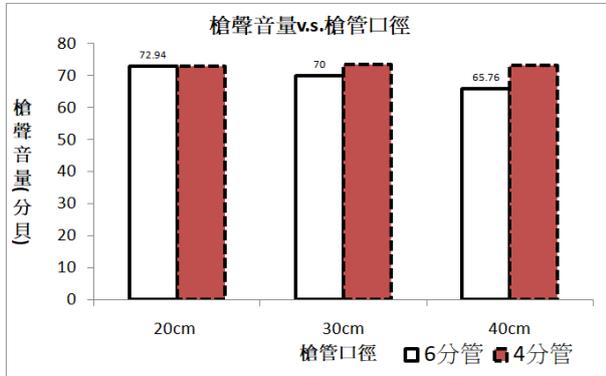


圖 14 槍管口徑與音量

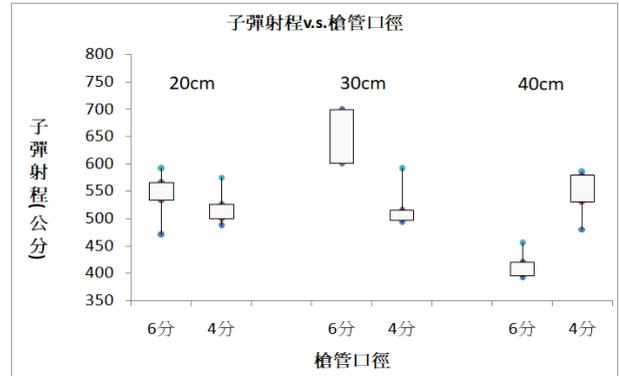


圖 15 槍管口徑與射程

(五)、氣壓腔大小

我們照原本的計畫，把氣壓腔的大小做為操作變因進行實驗，結果也與之前實驗的結果相似，音量沒有很明顯的差別(如圖 16)，射程很不穩定(如圖 17)，但整體而言氣壓腔大，子彈的射程會遠一點，可能跟氣體衝出量有關係。

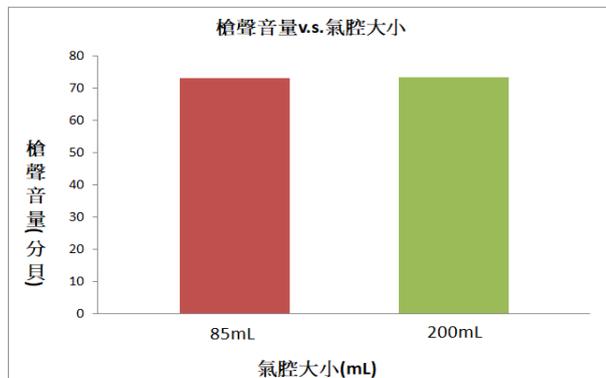


圖 16 氣壓腔與音量

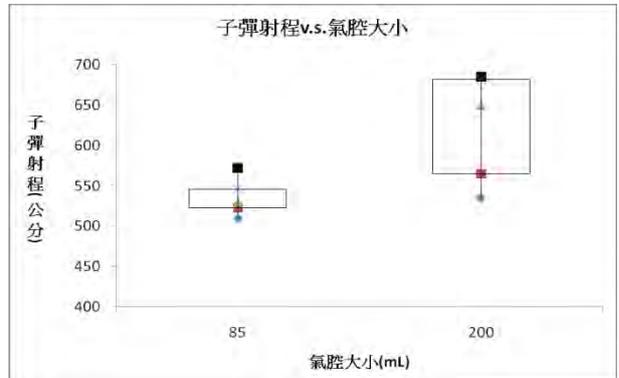
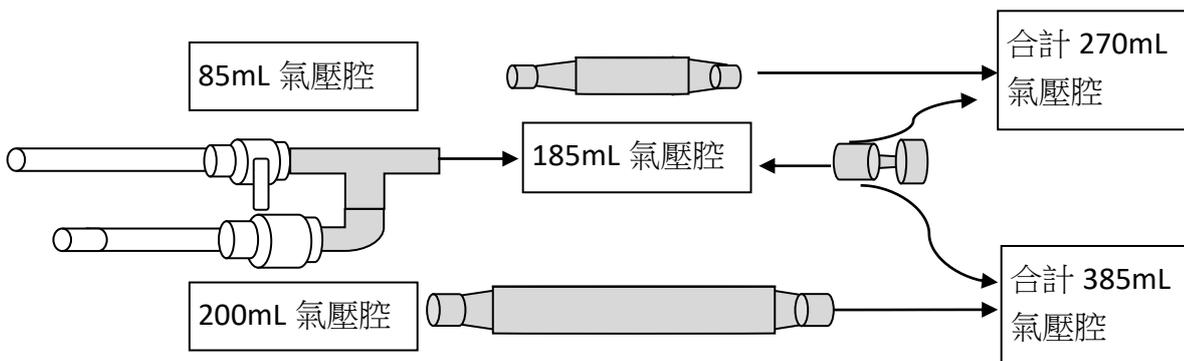
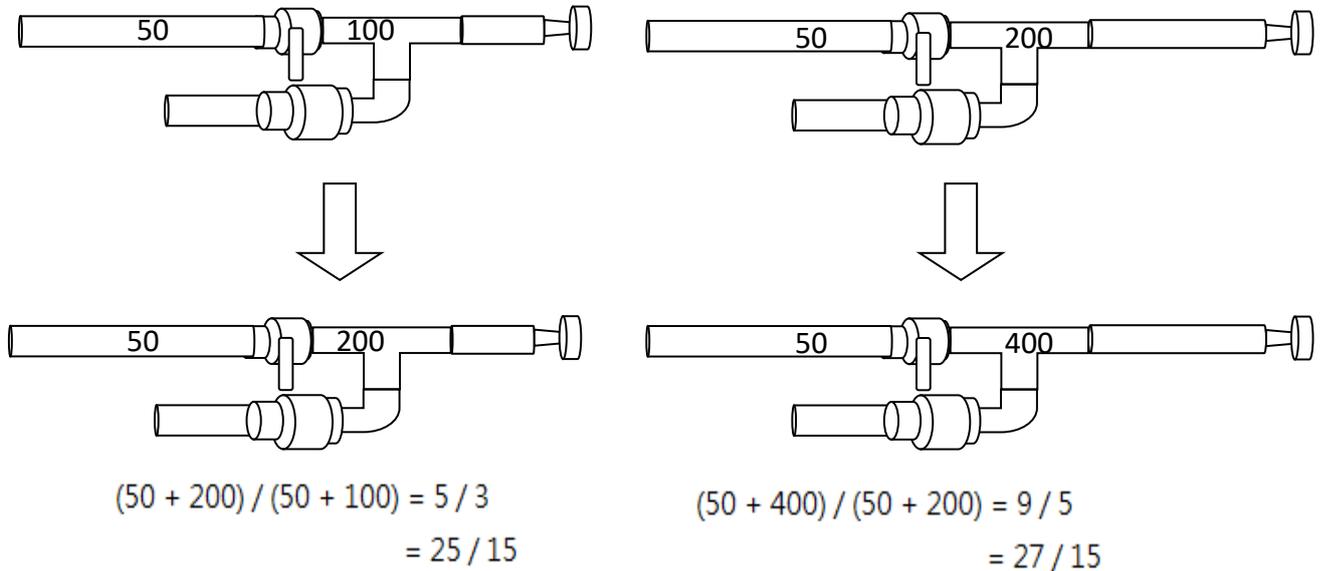


圖 17 氣壓腔與射程



我們推測誤差大，還是來自於擾流的影響，但大致上還是可以看到氣壓腔大，子彈射程會比較遠，可能來自於單位體積內的氣體量不同，在氣壓腔體積變大時，前方槍管所分得的壓力，會稍變大一點，但不會差太多，如下圖所示



跟老師討論後，老師要我們去查理想氣體方程式，應該可以得到更多的資訊。

壓力(Pa) \times 體積(m^3) = 氣體莫耳數(mol) \times 理想氣體常數($8.31atm\cdot L/mol\cdot K$) \times 溫度(K)

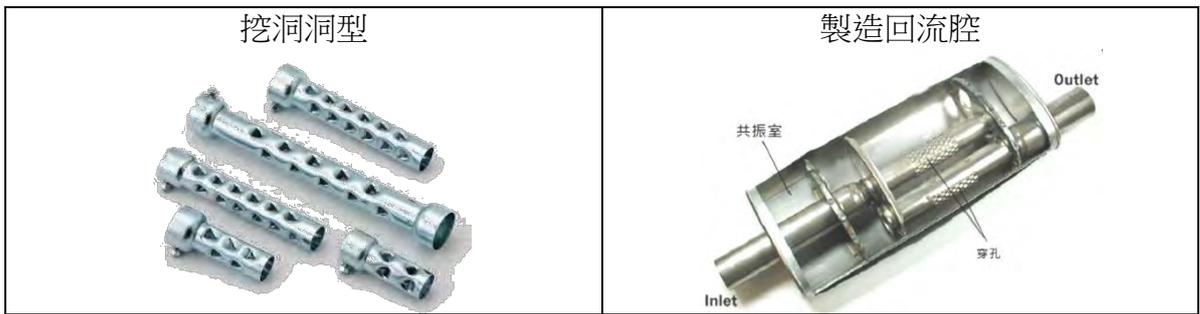
我們可以從式子中發現，在體積及溫度固定下，壓力跟氣體莫耳數成正比關係，從文獻中得知，氣體的壓力是來自於氣體分子的撞擊，所以氣壓腔的壓力提升，來自於我們打了更多的氣體進去，有更多的氣體分子在撞擊，所以當擊發時，衝出來的氣體數量也更多，雖然還是會受到擾流的影響，無法穩定，但可能因此讓射程變的更遠一點。

二、實驗操作變因討論

在做了好多好多的實驗，射了好多的子彈後，我們得到了很與原先預設的結果截然不同的結果，但經過不斷的討論及查看文獻，似乎又都有合理的解釋。但總算可以進行我們原本想要研究的東西，原來科學研究是每個動作，每個數據都要好好的去思考去選擇，真的沒有原本想的那麼單純，但能經歷這些也真的好有趣。

我們在想消音器時，查了手槍的消音器設計，但因為手槍等是內嵌式的子彈，

但我們的氣槍的子彈是外套式的，所以應該不太一樣，我們又查了機車的消音器，看到了以下幾類的設計



左圖來源: <http://origin-images.ttnet.net/pi/cto/40/15/71/68/40157168-3.jpg>

右圖來源: https://pic.pimg.tw/eatontseng/1430893306-2529857242_n.png

而我們也有一個想法，如果找不到適用的方法，那我們可不可以把外套式的子彈利用加套管，轉變成內嵌式的子彈，所以我們主要以這三種方法來設計消音管。

(一)、槍管打洞大小的消音效果

我們利用電鑽把 6 分管挖洞，一開始先測看看洞的大小有什麼影響，得到的結果如下圖，小洞的射程大約變短了 100~200 公分，但大洞的射程整個讓我們感到好笑與傻眼，有幾次子彈只有向前推了幾公分，連槍管都沒離開(圖 18)，音量的部分，挖小洞的差不了多少，而挖大洞的似乎變小一點(圖 19)。

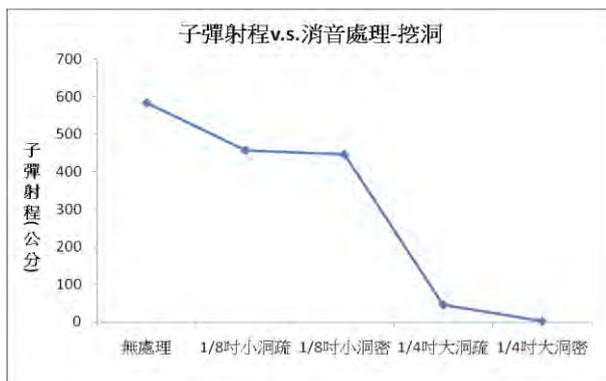


圖 18 挖洞消音與射程

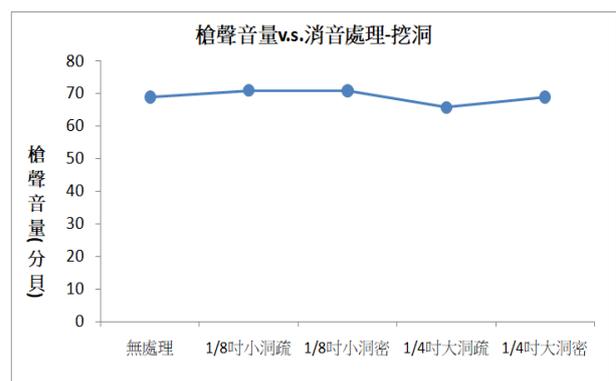


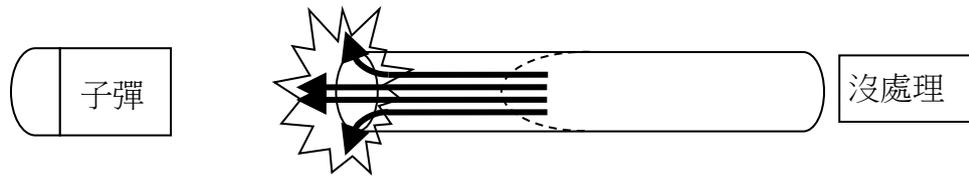
圖 19 挖洞消音與音量

我們覺得這個結果是挺合理的，子彈要往前飛，要有氣體去推動，而氣體推動的力量也需要時間去做用，如同式 3 所表達的意思，

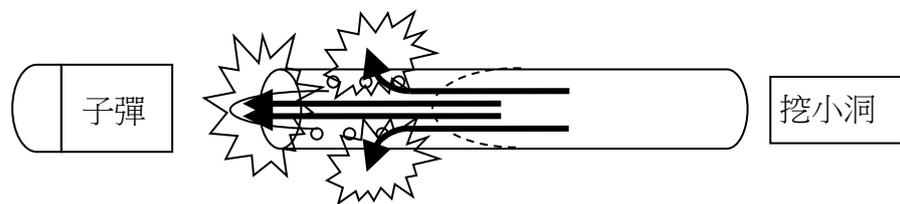


$$\text{速度}(m/s) = \text{加速度}(m/s^2) \times \text{時間變化量}(s) \dots \dots \dots \text{式 3}$$

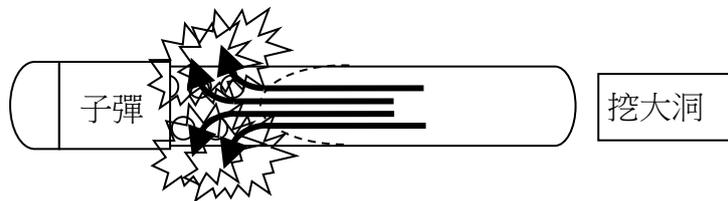
而氣體在推動子彈後，再從槍管口壓力釋放，產生聲音。



而我們把槍管打洞以後，因為空氣的流動性又太快，所以氣體有洞就向外流，反而沒有辦法有效推動子彈，所以洞越大，射程就越短，但聲音則是因為還是有洞口讓高壓氣體釋放，產生振動聲音。



所以小洞的沒什麼差，因為釋放的時間點幾乎相同，但大洞的空氣在前面幾孔相對較慢的流掉了，所以聲音也變小聲一點點。



(二)、槍管回流腔的消音效果

我們利用數個異徑接頭互相接合製作回流腔，想看看效果如何。在射程部分竟然有些許提升(圖 20)，而聲音降低的效果，似乎也似乎是沒什麼效果(圖 21)。

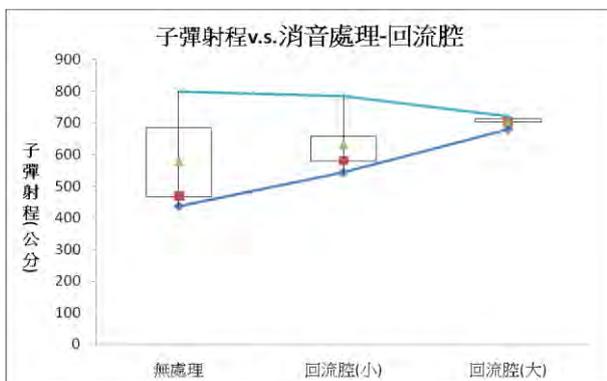


圖 20 回流腔消音與射程

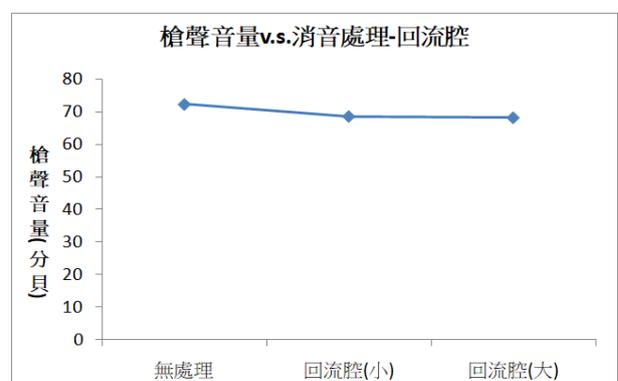


圖 21 回流腔消音與音量

我們覺得很奇怪為什麼射程上會有些許提升，我們一般都是討論平均值，但這裡要把注意力轉到它的穩定度，之前射程都容易出現不穩定的情況，最主要是因為子彈飛行時的擾流，而且如果一開始速度越快，擾流產生的影響就越大，在使用回流腔後，氣流在大小變化的槍管中，有被減弱的趨勢，但為了放子彈，我們最後還是接了約 10 公分的直管，有把氣流方向集中的功能，也因此，兩者交互作用，讓子彈剛好處在較為穩定的狀況，所以無處理的會有最遠的射程與最短的射程，但回流腔的射程則較為集中。

(三)、槍管外加套管的消音效果

實驗進行到這裡，真的讓我們覺得科學家們很厲害，可以設計出相關的消音產品，我們仿做的結構應該是有什麼東西沒有考慮進去，為什麼消音效果不明顯？最後我們只好在槍管外加上套管，把外套式的子彈模擬成內嵌式的型態，再來看有什麼可以處理的方式。

在一開始時我們先加了只出槍管長一點點的套管，結果發現子彈似乎射的比較遠，而且子彈比較穩定向前，但音量方面似乎沒什麼效果，讓我們很苦惱，覺得我們怎麼試了這麼多種變因，卻沒有什麼很明確的結果。

但我們還是堅持把所有實驗做完，在最深黑夜過去後，我們迎來了一道曙光，當套管變長以後，剛剛的觀察結果，不用進到電腦處理，我們就有很明顯的感受，子彈變的超穩定(圖 22)，音量變的明顯小很多(圖 23)，接下來最長的套管，效果更好。讓我們覺得，天啊，超級倒吃甘蔗的，終於有一個東西是有用的！

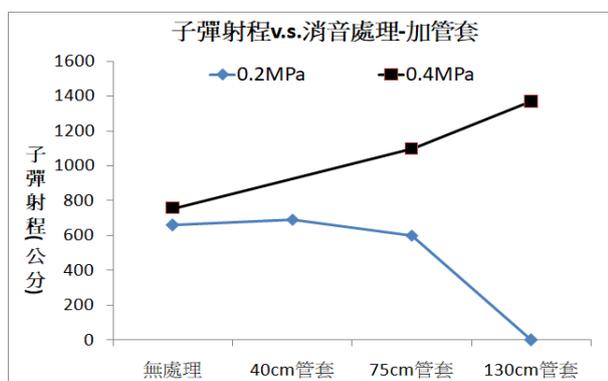


圖 22 加套管消音與射程

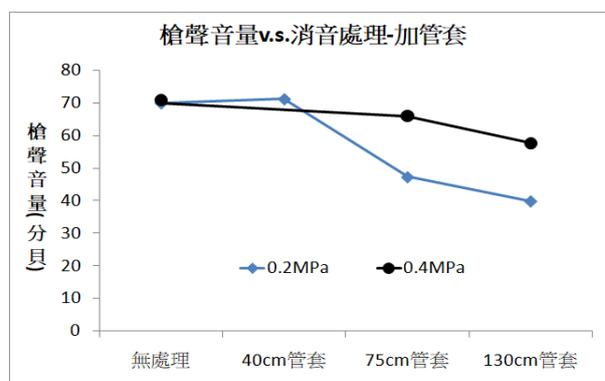
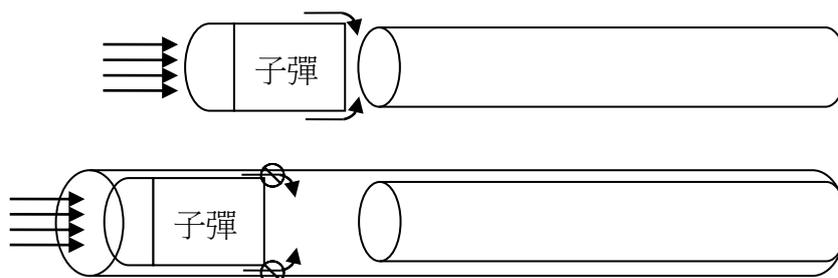


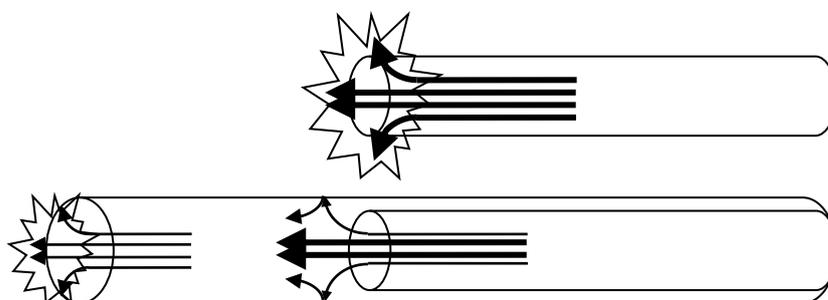
圖 23 加套管消音與音量

但為什麼只是加一個套管能有這麼大的幫助呢？我們覺得外面的套管，剛好針對於我們在前面所討論的兩個很重要的因素：

- 1、減少了子彈行進間會面臨到的擾流，讓子彈可以有更穩定的加速期，而且速度越快，擾流越強，在剛離開槍管時，子彈是最快的情況，而在套管中被保護著，速度下降，但不會減太多，離開套管時，因為速度稍降，所以擾流減少，更加穩定。



- 2、擊發產生的槍聲，是因為高壓氣體在槍口的壓力釋放，對外產生振動而形成了聲音，加了套管後，子彈已經被推出，但聲音能釋放的空間有限，所以在內槍管口產生不了太大的聲音，但在套管中，這股高壓氣流持續向前移動，而且因為摩擦的關係，擾流持續減弱氣流的壓力，等到套管時，聲音就小了。



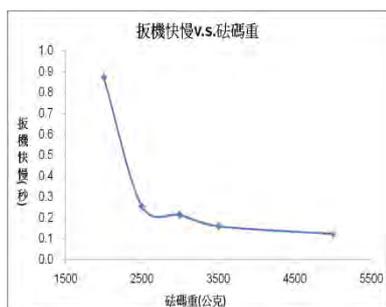
三、實驗結果假設之驗證

看似不合理的數據，經過討論與廣泛的查詢資料，似乎都能有個合理的解釋方法，但到底我們的推理對不對呢？我們感到好奇，我們決定再多設計一些實驗去驗證。

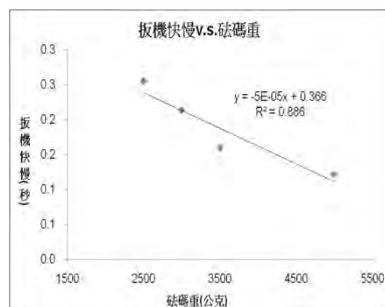
（一）、板機快慢與牛頓力學及運動運的關係

在板機快慢的實驗中，有一個點的數據，讓我們的圖形失去漂亮的直線，當然幾經討論，我們由運動學及牛頓第二運動定律中推論認為是因為在固定的位移下，合力大小會和所需時

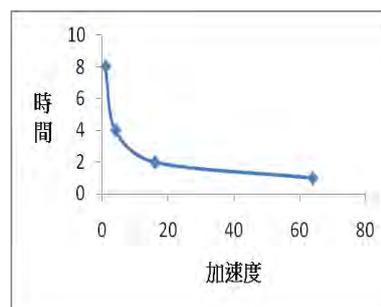
間成平方反比，也藉模擬的數字代入去驗證，但科學應該能做出來。



實驗結果



扣除特異點



模擬數據

當每一次變因的變化更小，可以讓應變變因與操作變因之間的關係更明確，之前由於我們每次實驗皆增加 500 公克重的砵碼，而剛好跳過了其平滑轉折地方，所以我們改以增加 100 公克重的砵碼(圖 24)。

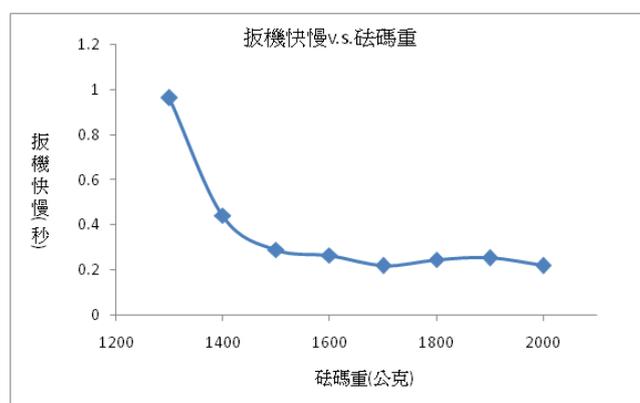


圖 24 扳機快慢與砵碼重(每次增加 100 公克重)

這一次的實驗，就明顯的可以看到在 1300 公克重的砵碼克服了摩擦力後，只剩一點合力得以拉動板機，而 1400 公克重的砵碼雖然只增加了 100 公克重，但拉動板機的時間大幅度變快了，當到了 1500 公克重的砵碼後，看起來還是有變快的趨勢，但差異不大，跟我們當初的假設是一致的！

(二)、氣槍子彈初速

在四、不同氣壓腔壓力的實驗中，我們發現壓力增大對於槍聲的影響不大，我們當時認為是因為氣壓腔的氣體會先壓縮前方槍管的空氣，而這過程需要時間，在這短暫的時間中，子彈已經被前方槍管的空氣推送出，因此槍聲的差距不太。又因音量是指數型的數字，所以若我們只增加 2 倍或 3 倍的氣壓，全部反應出來，可能也只有差 3 分貝或 5 分貝，並不明顯。

我們結合理想氣體方程式，10 公分槍管容積為 28 立方公分，30 公分槍管容積為 86 立方

公分，我們使用的氣壓腔為 85 立方公分，透過理想氣體方程式作修正：

	A	B	C	D 註1	E	F 註2
	槍管容積 (cm ³)	槍管氣壓 (MPa)	氣壓腔容積 (cm ³)	氣壓腔氣壓 (MPa)	平均氣壓(MPa) $E = \frac{(A \times B + C \times D)}{(A + C)}$	平均氣壓差 (MPa) F=E-0.1
10 公分 槍管	28	0.1	85	0.3	0.25	0.15
				0.4	0.33	0.23
				0.5	0.30	0.30
30 公分 槍管	86	0.1	85	0.3	0.20	0.10
				0.4	0.25	0.15
				0.5	0.30	0.20

表 11-氣壓腔與槍管之總氣壓修正

註 1:氣壓計上的 0.2MPa 是比正常大氣壓(0.1MPa)再大 0.2MPa，所以實際氣壓應該是 0.3MP

註 2:把子彈外推的高壓必須先克服外在的大氣壓，形成合力，所以使用氣壓差代為力量大小

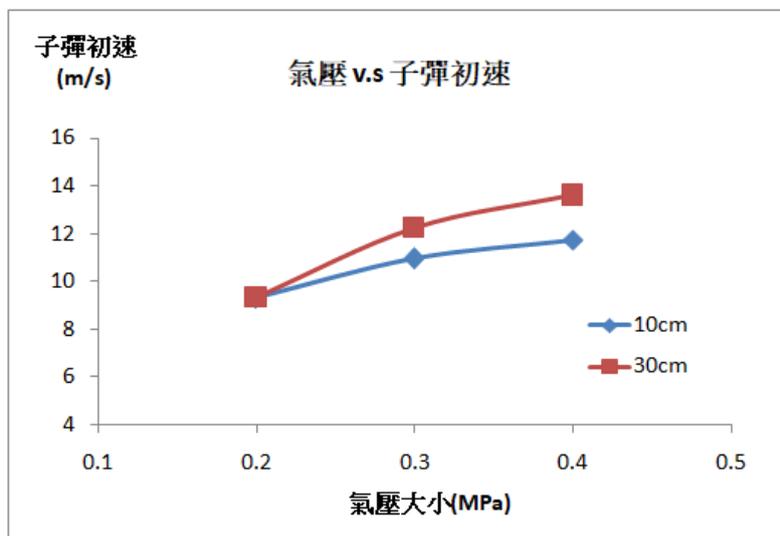


圖 25 氣壓大小與與子彈初速

從表 11 知道，槍管越短，理論上與氣壓腔混合後的總氣壓應該越大，子彈應該更快速，但從實驗(圖 25)卻發現 10 公分槍管的初速比 30 公分槍管的初速還慢，表示氣壓腔的氣體分子在與槍管混合時，需要時間，而因為槍管太短，混合所需要的時間不夠，子彈就已經飛出去了，所以造成這個現象，而且加壓越大，兩者的落差越明顯。可以佐證我們的推論。

我們試著從同一槍管子彈的初速去分析壓力大小的貢獻度，根據牛頓第二運動定律，力量和加速度成正比(式 1)，而運動學可推导出

$$\text{末速}^2(\text{m/s}) = \text{初速}^2(\text{m/s}) + 2 \times \text{加速度}(\text{m/s}^2) \times \text{位移}(\text{m}) \dots \dots \text{式 4}$$

這條式子，子彈從靜止出發，到離開槍管有固定 8 公分的位移及加速時間，若結合以上式 1

與式 4，可以推知末速的平方與加速度是正比關係，而加速度與力量成正比，因此末速的平方會與力量成正比關係。

壓力 (MPa) (表 11-F)	力量比值 (a) ^{註 3}	10 公分槍管			
		子彈初速 (m/s)	子彈初速比值 (V)	子彈初速比值平方 (V ²)	誤差比 $\frac{V^2 - a}{a} \times 100\%$
0.15	1	9.30	1		
0.23	1.5	10.94	1.18	1.34	-7.72%
0.30	2	11.72	1.26	1.59	-20.57%
壓力 (MPa) (表 11-F)	力量比值 (a)	30 公分槍管			
		子彈初速 (m/s)	子彈初速比值 (V)	子彈初速比值平方 (V ²)	誤差比 $\frac{V^2 - a}{a} \times 100\%$
0.10	1	9.30	1		
0.15	1.5	12.23	1.31	1.73	15.11%
0.20	2	13.60	1.46	2.14	6.87%

表 12-氣壓腔壓力與子彈初速之比較

註 3:因為管徑一致，而子彈受力面積也一致，所以壓力比即為力量比。

表 12 可發現 10 公分槍管負偏差，而且壓力越大，偏差越多，同樣可以驗證我們的假設，槍管氣體受擠壓時，就已經把子彈推送出去，所以真正的高壓氣體，就有大開口溢出，而造成音量差異不大。而 30 公分的槍管，有較長的時間讓氣體得以混合，同時也能累積較大的壓力進行推送，同時在誤差比率也更小。

同樣這個實驗，我們也可以驗證子彈在離開槍管時，壓大越大，速度是越快的，這一樣符合我們的預想，但初始速度快，射程卻沒有比較遠，這也證實了我們的推論，是子彈離開後在飛行過程中，承受空氣阻力導致的擾流，使它變的不穩定，而且越速度越快，其不穩定性就越高。

柒、結論

一、實驗控制變因討論

我們在把玩氣槍時，推測以下幾項因素都具對子彈擊發及音量：扳機快慢、氣壓腔壓力、槍管長短、槍管口徑、氣壓腔大小。但經過一次又一次的實驗，我們發現實際上除了扳機快慢外，其它的因素影響力，可能比不上氣體流動時產生的擾流及人耳

的感受度。

擾流會讓子彈在離管後，產生太多不穩定的力量，讓子彈時而飛遠遠，時而飛不遠，雖然我們每次的實驗起碼都重覆 5 遍以上，但標準差大的嚇人，原本我們分析時是以平均值呈現，但最後討論的結果認為還是用箱型圖來呈現射程的不穩定。

而高壓氣體釋放產生的音波，能量或許有大上 3 倍、5 倍，但音量可能只增加 5 或 7 分貝而已，但真的很難說是我們操作的誤差還是真的有變化。

科學實驗在驗證時，所要求的東西真的很多，難怪我們理化第一章就是在學誤差值，真的是讓人頭痛的問題啊，要差多少才能叫有意義呢？

二、實驗操作變因討論

我們的玩具是一把很酷又安全的氣槍，但太吵了，所以我們希望能製作一把消聲匿跡的氣槍，我們仿造槍隻消音器及汽機車排氣管消音器的設計，但或許因為我們氣槍設計跟槍隻是不同的，子彈是外套式，而氣體加壓只在子彈套管的那 10 公分，而不像真的槍隻是在槍管中不斷加速，那些消音產品只能用在內嵌式的子彈才有用。

失敗的結果讓人挫折，但換個角度把外套式的子彈轉仿造內嵌式的型式加個套管時，竟就可以解決這個很吵的問題，也連同精準度都上升了，真是一舉兩得，或許科學在不斷失敗的粹煉當中，讓人不斷思考更多的解決方法，或許每次的嘗試都不一定成功，但都可以獲得靈感與啟發。

三、實驗結果假設之驗證

一次實驗的結束，是另一次實驗的開始，在我們計畫之中的實驗，出現我們預料之外的結果，而去學習、去思考、去假設更好更完善的解釋方法。而新的假設又是一次新的實驗與挑戰。

利用不同的測量工具、把實驗過程更精細的進行，可以驗證的事情變得更多，一開始我們看到現象，之後透過文獻推理我們驗證數字，也見證了古人的偉大，也探究了科學精神。

捌、參考資料及其他

一、南一出版社 主編，自然與生活科技國中 2 上

二、康軒出版社 主編，自然與生活科技國中 3 上

三、What a Silencer really Sounds Like.

(<https://www.youtube.com/watch?v=Z3VITZ6-CcY>)

四、槍手韋德：“消音器影響射擊效果嗎？”

(<https://www.youtube.com/watch?v=5H4k4SoU7M4>)

五、抑制器(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8A%91%E5%88%B6%E5%99%A8>)

六、洪浚皓、林維哲、張信斌，攔截聲音—聲速測量、短距離隔音、長距離收音實驗，2003 年，中華民國第 43 屆中小學科學展覽會作品說明書。

七、許呈瑄、陳冠宇、林益民、莊順源，汽笛狂響曲，2015 年，中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。

八、新北市立板橋國民中學，哨音傳奇，2013 年，新北市 102 學年度國民中小學科學展覽會作品說明書。

九、許婷、張清俊，腔體共振之探討，2010 年，中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。

十、張立羣，運動生物力學（二），2014 年，臺灣體大（<http://slidesplayer.com/slide/11608422/>）

十一、層流與擾流

(https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm1/wpage1-3.htm)

十二、理想氣體方程式

https://market.cloud.edu.tw/content/senior/chemistry/tp_sc/content1/number1/3/3-8.htm

十三、盒狀圖製作

(<http://210.240.9.70/docs/cch/math/%E7%9B%92%E7%8B%80%E5%9C%96%E8%A3%BD%E4%BD%9C.ppt>)

【評語】 030115

震波所產生的音爆問題具有相當的實用性，也有相當的趣味性，類似研究在過去作品中並不多見，該作品探討的問題與方法相當新穎。但在各項實驗條件的控制上較為不易，也造成實驗結果略為分歧，呈現結果較不完整。然而這是所有開創性研究必然遭遇到問題。整體而言，值得鼓勵。

壹、摘要

我們用不同面向探討可能影響氣槍聲音大小的變因，卻發現預設變因中，只有扣下板機的速度是重要的，其它的變因氣壓不同、槍管長度、槍管粗細、氣壓腔大小等**竟然和預期的不同**，沒有什麼明顯的影響力。

我們希望保持氣槍的威力，並同時降低槍聲的音量，參考相關設備及文獻後，提出不同解決方案，但因為自製氣槍的子彈是套在槍管外，與一般內嵌式的槍隻不同，導致一般使用的方法並不適用於此，最終**發現加上外套管即能有效地降低音量，並提高射程**。

貳、研究動機

有一天，我們看到老師在玩一把自製的空氣槍，我們興奮的跑上前東摸摸西看看，還試射了好幾發，威力十足，甚至可以從實驗室打到對面大樓呢！

但是我們發現了一個問題，那就是：聲音實在是太大聲了！當扣下板機時，高壓的空氣推動子彈發射出去，連帶的發出極大的聲響，不但會對耳朵造成負擔，也會影響到附近的教室，正好我們剛學完波動與聲音，我們知道聲音的來自空氣的振動，而音量取決於振幅，子彈要打的遠，要很大的氣體擠壓，同時也造成了巨大的聲音，於是乎，我們想製作一把無聲的氣槍呢？

為了解決這個難題，我們先上網查了和消音器有關的資料，發現有打洞和增加回流腔兩種做法，但很可惜的是，那些都是汽機車或內縮式槍械的消音器，**卻沒一個是我們這種外套式子彈專用的消音器**，有沒有用也不知道，於是，我們的科展研究的題目就決定了。

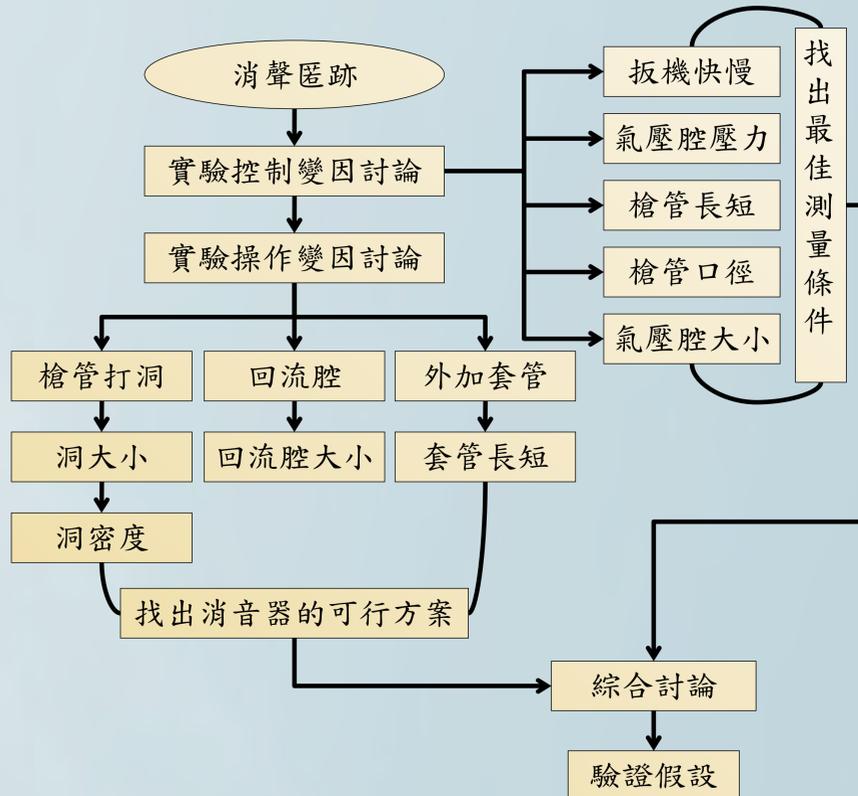
參、研究設備及器材



可換套件

PVC水管	金屬球閥	逆止閥	氣壓計
打氣筒	麥克風	童軍繩	砝碼
捲尺	Audacity	tracker	

肆、研究過程或方法



(一) 資料處理

音量大小

1. 找到槍聲時間
2. 進行頻譜分析
3. 找到最大的峰值
4. 記錄與-90分貝的差值

板機時間

1. 以手指完全離開為起始時間
2. 以繩子完全離開為結束時間

子彈初速

1. 依時間序標示出彈頭位置
2. 進行速度分析

(二) 控制變因討論

(三) 操作變因討論

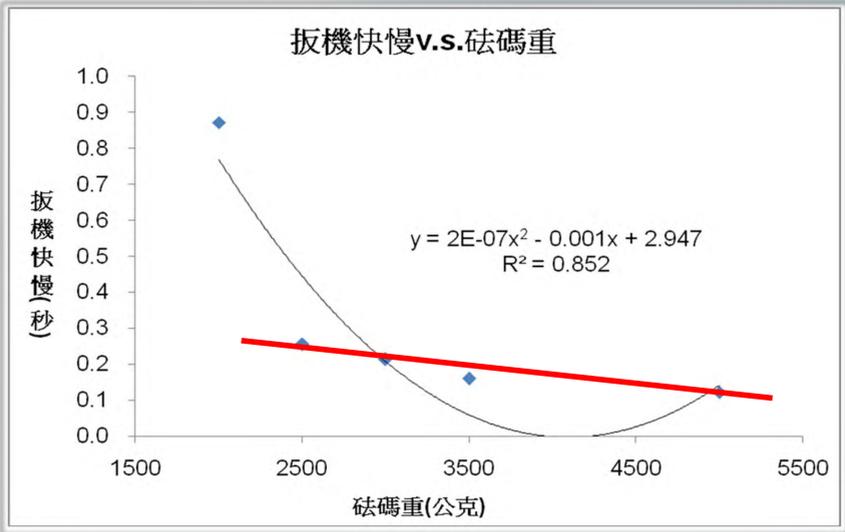
- 1、釋放砝碼後，扯動金屬球閥的開關，進行擊發。
- 2、麥克風設置在槍口20公分處，得到槍聲的音量。
- 3、測量子彈射程。
- 4、重覆步驟1~3，起碼5次。
- 5、更換不同套件，重覆步驟1~4。

伍、研究結果與討論

一、實驗控制變因討論

要做出有效的消音器，要先了解氣槍槍聲的可能變因，把玩氣槍時，上推論出以下幾項：扳機快慢、氣壓腔壓力、槍管長短、槍管口徑、氣壓腔大小，我們就這些變因先行了解。

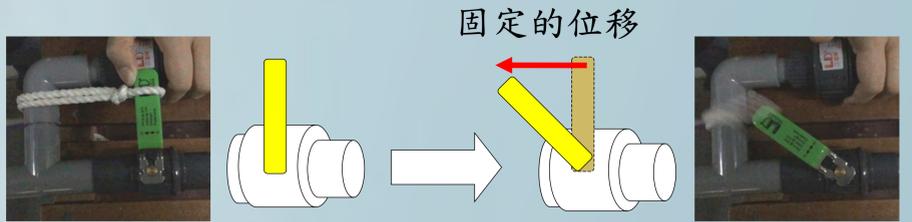
(一)、扳機快慢



根據牛頓第二運動定律，可以知道力量與加速度之間的關係，力量與加速度成正比

$$\text{力量} = \text{質量} \times \text{加速度}$$

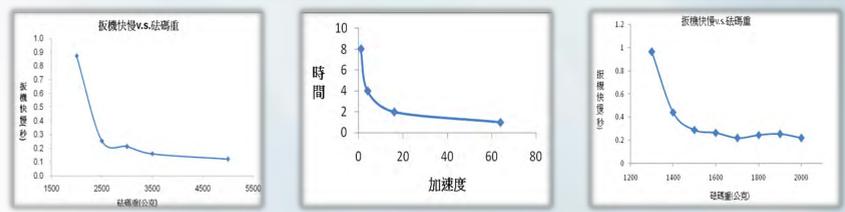
判定扳機時間是以扳機被拉動一固定距離所需的時間



透過運動學中位移與加速度及時間變化量的關係式，

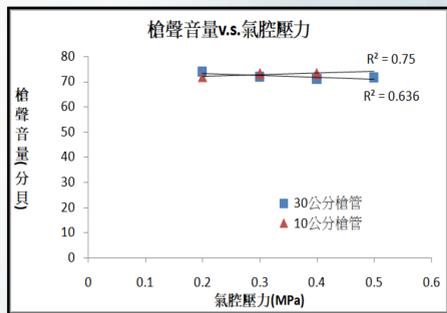
$$\text{位移} = \text{初速} \times \text{時間變化量} + \frac{1}{2} \times \text{加速度} \times \text{時間變化量}^2$$

可知當初速為零時，時間與加速度是呈現平方反比。

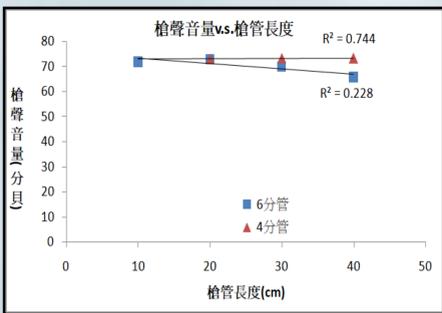


圖A實驗結果 圖B模擬結果 圖C驗證結果

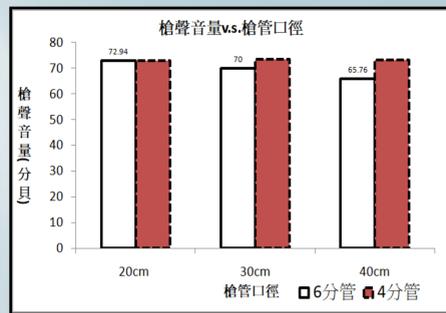
(二)、氣壓腔壓力



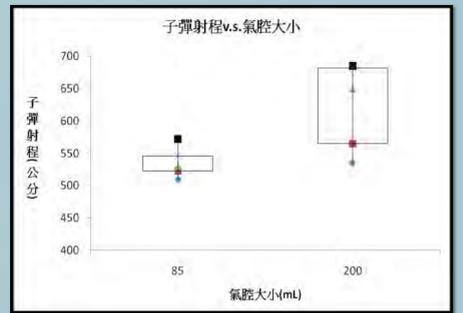
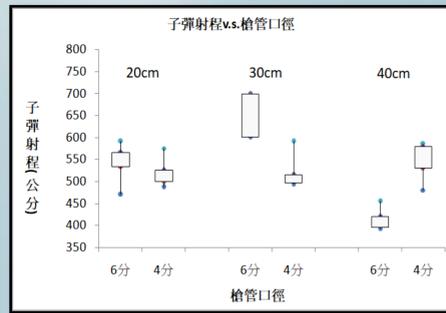
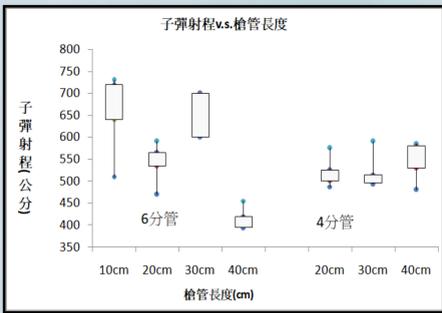
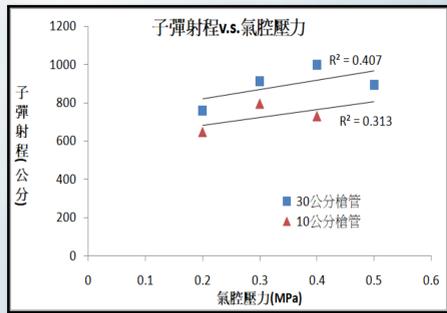
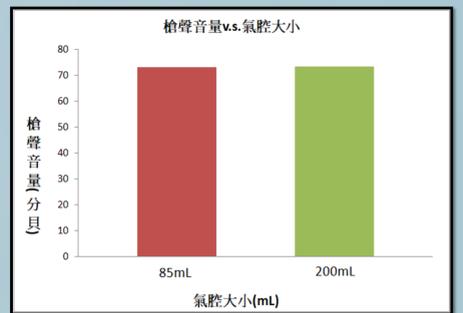
(三)、槍管長短



(四)、槍管口徑

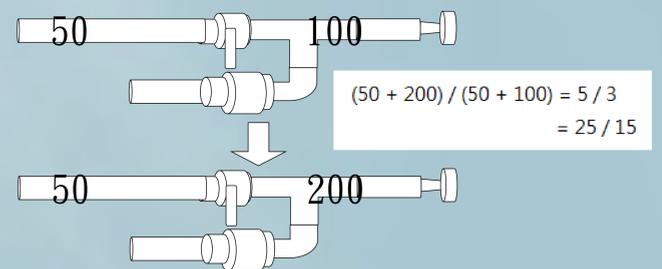
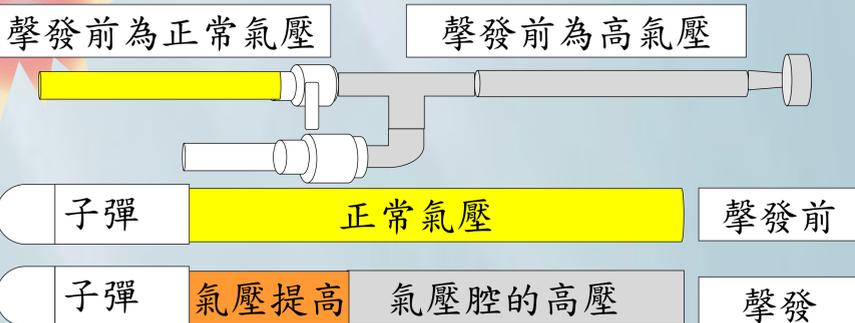


(五)、氣壓腔大小



氣體的壓力是來自於氣體分子的撞擊，所以氣壓腔的壓力提升，來自於我們打了更多的氣體進去，有更多的氣體分子在撞擊，所以當擊發時，衝出來的氣體數量也更多，雖然還是會受到擾流的影響，無法穩定，但可能因此讓射程變的更遠一點。

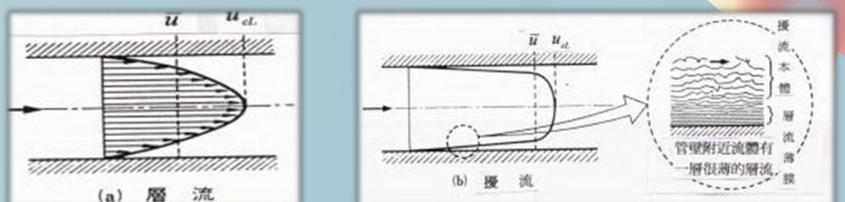
$$\text{壓力} \times \text{體積} = \text{氣體莫耳數} \times \text{理想氣體常數} \times \text{溫度}$$



研究發現壓力大小對槍聲音量及子彈射程則是沒有明顯差異，我們推論真正推動子彈並非氣壓腔內的高壓氣體，而是槍管內原本的空氣受到高壓氣體推擠時，形成的另一股壓力氣體，因為作用時間接近，所以槍管內產生的壓力差不多，所以槍聲音量及子彈射程差異不明顯。

槍聲音量及子彈射程差異不明顯，仔細看其內容，槍聲音量很穩定，但子彈射程卻呈現不穩定的情況，忽遠忽近。

於是我們去查了資料，在流體力學中，有所謂的層流與擾流，流體在管子中流動時，會和管壁產生交互作用，形成擾流，此時會降低有效的層流比例，



(圖片來源: https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm1/index/c1-3/1-3-5.htm)

二、實驗操作變因討論

手槍消音器設計及機車消音器設計，主要以左邊幾類的設計，如果找不到適用的方法，則利用外加套管，把外套式的子彈轉變成內嵌式的子彈，我們以這三種方法來設計消音器。



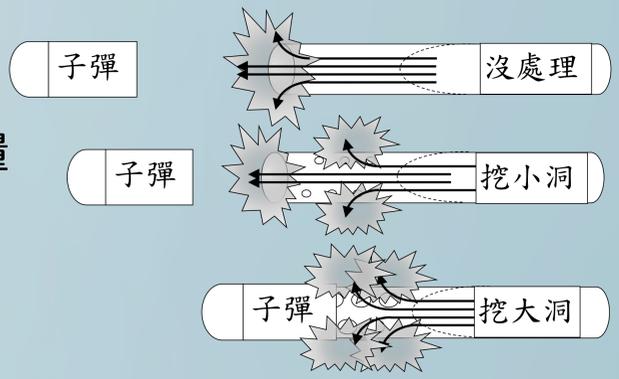
(一)、槍管打洞大小的消音效果



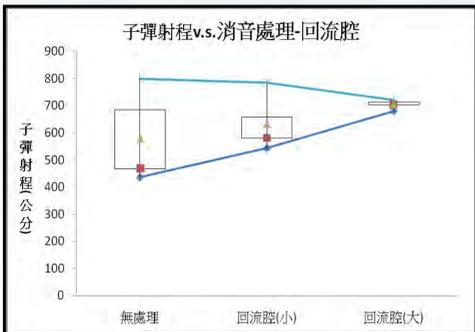
氣體去推動子彈需要時間

$$\text{速度} = \text{初速} + \text{加速度} \times \text{時間變化量}$$

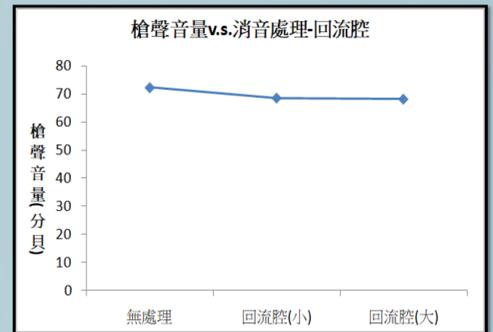
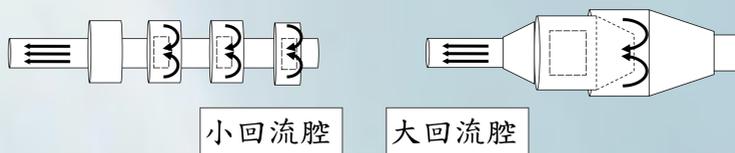
槍管打洞以後，因為空氣流動性又好，所以氣體有洞就向外流，沒有辦法推動子彈，但還是有洞讓高壓氣體釋放，產生聲音。



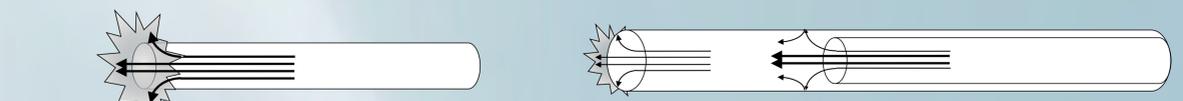
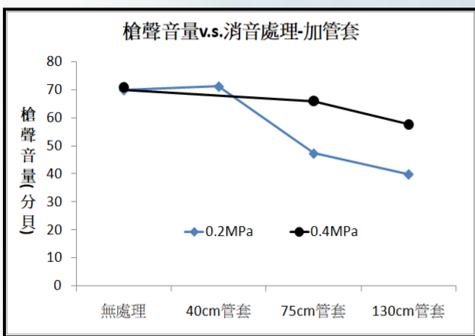
(二)、槍管回流腔的消音效果



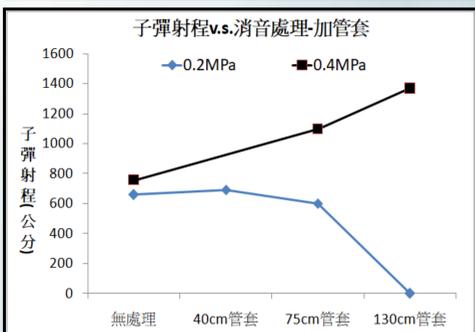
使用回流腔後，氣流在大小變化的槍管中，有被減弱的趨勢，讓子彈剛好處在較為穩定的狀況。



(三)、槍管外加套管的消音效果

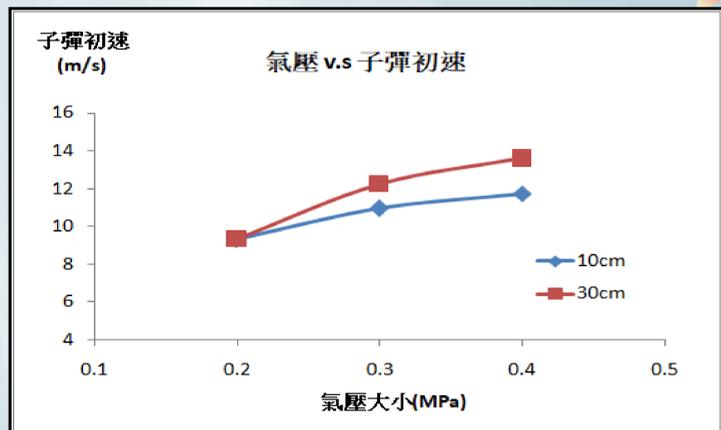


加了套管後，子彈已經被推出，但聲音能釋放的空間有限，所以在內槍管口產生不了太大的聲音，在套管中，這股高壓氣流持續向前移動，而且因為摩擦的關係，等到套管口時，聲音就小了。



加了套管後，減少了子彈行進間會面臨到的擾流，讓子彈可以有更穩定的加速期，而且速度越快，擾流越強，在剛離開槍管時，子彈是最快的情況，而在套管中被保護著，所以擾流減少，更加穩定。

三、驗證假說—氣槍子彈初速



10公分槍管			30公分槍管		
加壓 (MPa)	平均氣壓 (Mpa)	氣壓差 (Mpa)	加壓 (MPa)	平均氣壓 (Mpa)	氣壓差 (Mpa)
0.3	0.25	0.15	0.3	0.20	0.10
0.4	0.33	0.23	0.4	0.25	0.15
0.5	0.30	0.30	0.5	0.30	0.20

槍管越短，理論上與氣壓腔混合後的總氣壓應該越大，子彈應該更快速，但實驗發現短槍管的初速卻比長槍管的初速慢，可以佐證我們的推論。

推送子彈來自於槍管內氣體被高壓氣體擠壓所致，造成長槍管速度快的現象，而且加壓越大越明顯。

陸、結論

- 一、除了板機快慢外，其它因素影響力，比不上氣體流動時產生的擾流及人耳的感受度。
- 二、真正推動子彈的是槍管內的空氣被高壓氣體壓縮產生的壓力，而非打入的高壓氣體。
- 三、現有的消音裝置都並不適用外套式子彈，而外加套管時，可以解決這個很吵的問題，也連同精準度都上升了，真是一舉兩得。
- 四、一次實驗的結束，是另一次實驗的開始，計畫中的實驗，出現預料外的結果，而去學習、去思考、去假設更好更完善的解釋方法。而新的假設又是一次新的實驗與挑戰。

柒、未來展望

- 一、應可實際用於槍隻的消聲器，可望再降低音量，使國軍靶場周邊環境更安寧。
- 二、外加套管讓聲波在內、外管間逐漸消匿，意即外加隔音套，可有效降低噪音，而且成本低廉，在極需安靜的場所如醫院等（WHO建議醫院噪音不應超過35分貝，但醫院大都落在50到60分貝），在器械及氣體或水管道的隔音上，都可以再升級。