

## 脈衝式槍砲噪音之量測與分析 Measurement and Analysis of Impulsive Gun Noise

劉朝士<sup>1</sup>、李育霖<sup>2</sup>、陳德煒<sup>3</sup>

### 摘要

槍砲噪音對人耳影響甚大，以往軍事單位及武器研發廠庫在進行訓練及測試時，均選擇人煙稀少及海岸邊進行，但隨著時代變遷及土地過度開發利用，使得住宅區離軍事單位及研發廠庫訓練及測試地點越來越近，槍砲噪音的管理成了國軍刻不容緩的重要問題。

對於槍砲噪音的問題，國內目前無任何規範及法令可供依循，國際間亦未達成共識，此係因槍砲噪音屬於瞬間脈衝音。因此，要律定槍砲噪音之管制方式，首要工作在於了解噪音狀況與特性。本研究針對國軍某測試場射擊之不同火砲進行噪音量測，透過時間訊號、最大噪音量及 1/3 倍頻分析，來了解各型槍砲噪音在不同藥量、不同位置及有無屏障下之聲音頻率特性。時間訊號分析可以發現，彈藥裝藥量的多寡對聲音的持續性與音量大小成正比；而在 1/3 倍頻分析中發現，不論是何種口徑的武器，其所產生的聲能量均集中在 20Hz 至 200Hz 之間，該頻率範圍屬於低頻噪音類型，在防治及改善上可由此方向著手進行。上述結果可以作為未來槍砲噪音防治及管理的參考依據。

**關鍵字：**槍砲噪音，1/3 倍頻，噪音控制，C 加權音量

### Abstract

Gun blast noise has great impact to human ears. In the past, military units and weapon system research and development agencies choose remote field or coast to perform training and testing in order to reduce annoyance in the surrounding community. Due to the overuse of land, more residential areas are developed closer to these exercising areas. As a result, gun muzzle noise management will become an important issue that demands immediate attention. Currently, there is no specific standard or law to regulate gun blast noise nor in Taiwan or international community. The difficulty of setting a common regulation is because the gun blast noise is an instantaneous impulse noise. In order to setup a regulation, it is important to understanding and characterizing gun blast noise. In this study, we measure and analyze various gun blast noise fired at one of the testing field in Taiwan. Then, we analyze their time history, peak noise level and 1/3 octave sound spectra in order to understand the noise characteristics with condition of different amount of gunpowder, different location, and the effect of sound-absorbing barriers. Through the time signal analysis, we found that the impulse lasting time and sound pressure level is roughly proportional to the amount of gunpowder. It is also found that the 1/3 octave spectrum analysis shows the sound energy of gun blast noise is concentrated between 20Hz to 200Hz for all the measurements. Therefore, efforts of controlling and reducing noise level should be focusing on this low frequency range. The result of this study can be used as a reference for future work on gun blast noise management and control.

**Keywords:** Gun blast noise, 1/3 octave band, Noise control, C-weighted sound level.

<sup>1</sup>國防大學理工學院兵器系統中心主任

<sup>2</sup>國防部後備司令部軍事情報處參謀

<sup>3</sup>國防大學理工學院動力及系統工程學系教授

## 一、前言

槍砲噪音的產生通常來自軍事單位及研發廠庫，其射擊地點多位在人煙稀少的山區或海邊，其主要目的是在執行必要軍事演訓活動的同時，儘量避免影響附近居民的生活品質；但台灣地小人稠，居民分散亦廣，軍事活動勢必對一般民眾造成些微的影響，因此，槍砲噪音經常造成軍民關係之困擾與爭議。

例如民國89年3月澎湖龍門戰車靶場在進行戰車打靶訓練時，其聲音震破附近民舍玻璃，造成房舍龜裂、受損，住戶要求賠償；民國97年6月宜蘭金六結的靶場擾民，宜蘭市民代表會要求遷移靶場等。諸如此類的抗議事件，都是因為我國目前很少針對槍砲噪音的防治及改善進行研究，使得演訓單位與附近居民在進行溝通及協調上，常常無法達成共識進而形成對立，顯見槍砲噪音防治與改善將成為國軍重要的工作，而其首要的工作，係瞭解噪音特性，方能採取適當之防治措施。

有鑑於此，為了維護軍事單位及研發廠庫附近居民生活品質，減少彼此之間因槍砲噪音的影響產生對立，進而維持與居民之間的良好關係，達到國防部「敦親睦鄰」的目的，本篇運用時間訊號及 1/3 倍頻分析，來瞭解槍砲聲源的特性，提供未來國軍對於槍砲噪音防治及改善的參考。

## 二、實驗方法

### 2.1 場地介紹

本研究以台灣東北角某兵器試驗場進行槍砲噪音防治改善的研究為例，進行口徑、距離及彈藥裝藥量彼此之間關係的分析研究。該試驗場地形屬於開闊地形，射擊方向均朝海面上射擊，營區四周僅在面向海面左側及後方各有一棟七樓高的大樓外，其餘建築結構多為二或三層樓的 RC 建築，其試驗場地點、風向、地形及場內隔音設施概述如下：

- (1) 實驗地點：位於台灣東北部的濱海地區，A 點為該試驗場武器射擊時放置範圍，如圖 1 所示。
- (2) 風向：當地常年風向為東南向西北方向吹(即由海上向陸地吹，箭頭所示)。
- (3) 地形：其射擊試驗場地形為一平坦開闊地形，除小口徑射擊地點有一突起的小山丘外，如圖 1B 點所示，餘為平坦地形。
- (4) 隔音設施：火砲射擊場內共有兩座砲座，均設有隔音牆(如圖 2 所示，高 20 公尺、牆厚 5 公尺)；小口徑武器射擊地點右側，有一排由 RC 結構製成的圓形柱，直徑 5 公尺、高 10 公尺採上下推疊方式，形成一道水泥擋牆(如圖 3 所示，全長 30 公尺、寬 5 公尺)，餘場內四周無較顯著的遮蔽物(如防風林或較高大樹木)可減緩槍砲射擊音量。

某國小



圖 1 實驗地點空照圖[i]



圖 2 砲座掩體



圖 3 水泥柱擋牆

## 2.2 儀器介紹

在數據收集過程中，運用 4 種儀器設備搭配使用，分別為：

- (1) 麥克風部分：使用丹麥 G.R.A.S sound & vibration 公司的 Type MCE212 的 1/2" 高感度麥克風，其動態範圍值為 15~140 分貝，頻率範圍值為 6.3~20KHz，儀器型式如圖 4。
- (2) 訊號放大器部分：使用丹麥 G.R.A.S sound & vibration 公司的 Type 26AK 訊號放大器，將高輸出阻抗轉為低輸出阻抗，以配合麥克風的阻抗轉換，來降低因連接其他設備的信號線中的雜訊，儀器型式如圖 5。
- (3) 訊號擷取部份：使用丹麥 Brüel & Kjær 公司的 Type 3560C 的訊號擷取器，處理訊號擷取及紀錄，儀器型式如圖 6。
- (4) 訊號錄製部分：使用丹麥 Brüel & Kjær 公司的 Pulse 頻譜分析軟體，將記錄及擷取下來的訊號做檔案格式轉換，儀器型式如圖 7。

在整個槍砲訊號蒐集過程中，必須透過這 4 種儀器搭配方可實施訊號錄製及蒐集，其構成圖如圖 8 所示。



圖 4 高感度麥克風



圖 5 訊號放大器



圖 6 訊號擷取器  
(訊號擷取、處理、紀錄) (紀錄、顯示)



圖 7 頻譜分析儀



圖 8 訊號蒐集器材組成圖示

### 2.3 實驗流程

本次研究將槍砲口的口徑及麥克風放置的位置定義為可控制因素，而量測當日的風速、相對溫濕度及周邊儀器發出的聲響，均為非控制因素；因此，若當日風速超過  $8.8\text{ m/s}$  或是相對濕度超過 90%時[ii]，其所量測到的音量數據將不列入分析評估。因此，為儘可能將每次量測錄音過程標準化，其實驗步驟及操作標準程序，如下：

步驟 1：依口徑大小決定麥克風與槍砲口的距離：

大口徑部分：距離砲口最短 100m；小口徑部分：距離槍口最短 30m。

步驟 2：架設四組高感度麥克風，麥克風高度離地面需維持在 1.2m~1.5m。

步驟 3：依射擊位置決定麥克風放置位置，區分四個方向(左側、左後、右後及右側)，另在地形許可下，將其中一組麥克風放置於有隔音設施後方進行量測，作為與無遮蔽物狀況下之對照組。而麥克風與槍砲口的關係，在大口徑部分如圖 9~圖 11 所示；小口徑如圖 12~圖 14 所示，

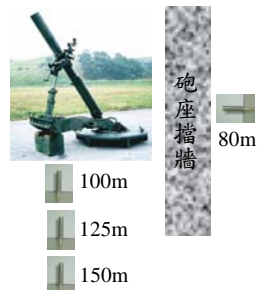


圖 9 大口徑武器射擊後側有屏障麥克風位置圖

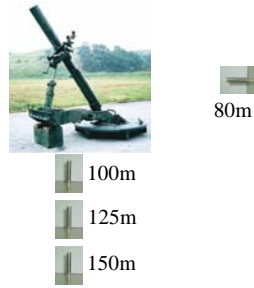


圖 10 大口徑武器射擊後側無屏障麥克風位置圖



圖 11 大口徑武器射擊麥克風位置圖



圖 12 小口徑武器射擊後側有屏障麥克風位置圖



圖 13 小口徑武器射擊麥克風位置圖



圖 14 小口徑武器射擊麥克風位於左右後方位置圖

- 步驟 4：設定取樣頻率為 65536Hz，確定接收到的聲音訊號未超過可量測範圍值後，則開始進行錄音。
- 步驟 5：錄製過程以砲彈撞擊發出聲音至彈頭擊中目標為止(射擊陸上目標時，海上目標則不在此限)。
- 步驟 6：將錄製完的聲音檔，以 MAT-file 檔格式存入硬碟中，運用 Matlab 來進行聲音訊號分析處理。
- 步驟 7：將最大噪音量轉換為 dB 值及 dB(C)值。
- 步驟 8：進行時間訊號分析及依口徑或位置進行 1/3 倍頻程分析。
- 步驟 1-8 可以圖 15 之實驗流程圖表示，如下：

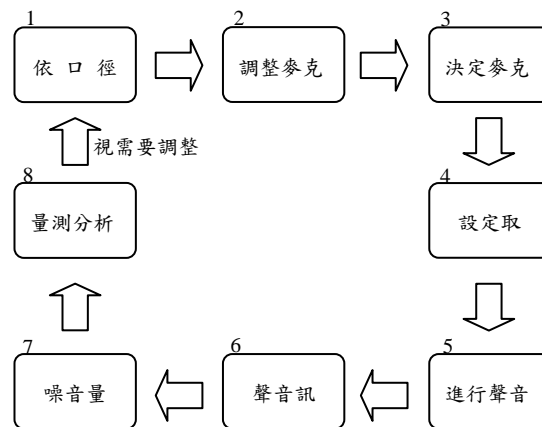


圖 15 實驗步驟流程圖

### 三、分析與評估

槍砲脈衝噪音在分析及評估上，都比交通噪音及環境噪音來的困難。故美軍仍持續對槍砲脈衝噪音進行研究，期望建立標準供政府及部隊使用[iii, iv, v]。本篇研究自民國97年4月16日起至10月23日止，共計量取10類310筆數據，如表1所示。現針對時間訊號及1/3倍頻分析，其結果如下：

#### 3.1 時間訊號分析

由王秉義學者引述科爾斯等人所提的A、B持續時間判定方式[vi, vii]，將圖 16 至圖 23 各類型武器脈衝噪音的A、B持續時間特性找出並進行比較。表 2 即為槍砲脈衝噪音A和B持續時間的特性比較表。

表 1 數據統計表

日期	數據類型	資料筆數	日期	數據類型	資料筆數
0416	b型槍	13	0923	A型砲	6
0513	D型砲	36	0923	B型砲	31
0514	B型砲	12	0924	F型砲	14
0610	C型砲	18	1002	b型槍	46
0611	b型槍	48	1021	a型槍	30
0716	b型槍	15	1021	E型砲	10
0805	c型槍	3	1023	G型砲	28
備考	<p>1.依該試驗場射擊報告，0923的A型砲及B型砲其相對溼度為94.6%；0924F型砲相對溼度為92.5，高於分析標準，故不列入分析評估。</p> <p>2.型槍為單位鑑測前武器射擊訓練，數據資料僅3筆，欲做分析評估，在比較上效能不彰，故僅作為量測參考，暫不列入分析評估。</p>				

表 2 各種槍砲的脈衝噪音持續時間表

日期	武器類型	測點位置	A 持續時間 $t_A / ms$	B 持續時間 $t_B / ms$
5月14日	B型砲	100m	0.0467	0.0521
6月10日	C型砲	100m	0.0211	0.0249
10月23日	G型砲	100m	0.0191	0.1020
		150m	0.0179	0.1026
10月21日	a型槍	30m	0.0037	0.0164
		50m	0.0029	0.0339
10月2日	b型槍	30m	0.0086	0.0403
		50m	0.0076	0.0576
備考	<p>1.D、E型砲因測量過程音壓過大，超出感度麥克風量測範圍值，故不列入分析。</p> <p>2.上列所顯示數據為射擊當日單一筆資料。</p>			

我們由表2中所呈現的數據可以發現，各類型槍砲所產生的B持續時間大致上均介於0.02~0.1ms之間，尤其是砲的部份，我們亦可以發現同類型彈藥(B與C型)其所產生的B持續時間亦所不同；而在A持續時間槍與砲在時間上差異就比較大，槍的部份約在0.002~0.008ms之間，砲則在0.01~0.04ms之間，分析發現A、B持續時間的變化除了因為口徑及彈藥裝藥量不同之外，另一原因則與砲管膛壓有關，也就是膛口脈衝噪音的影響。

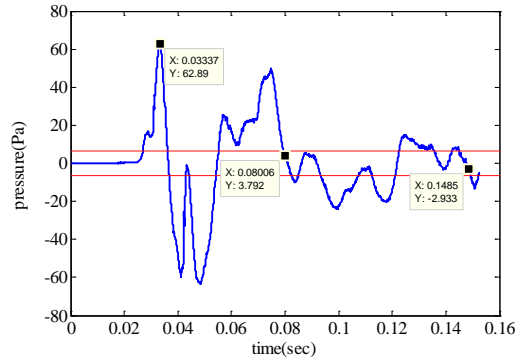


圖 16 B 型砲於 5 月 14 日距離 100m 的時間訊號特性

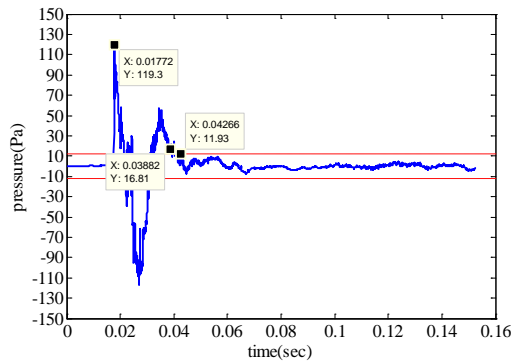


圖 17 C 型砲於 6 月 10 日距離 100m 的時間訊號特性

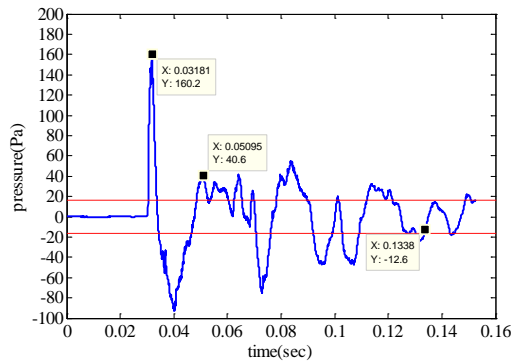


圖 18 G 型砲於 10 月 23 日距離 100m 的時間訊號特性

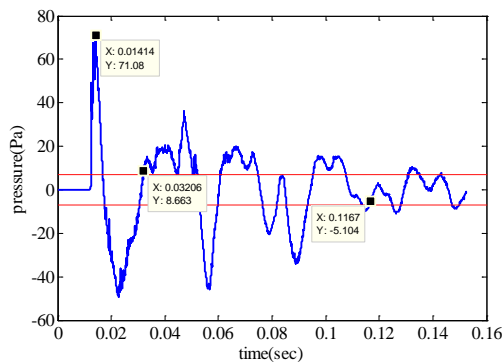


圖 19 G 型砲於 10 月 23 日距離 150m 的時間訊號特性



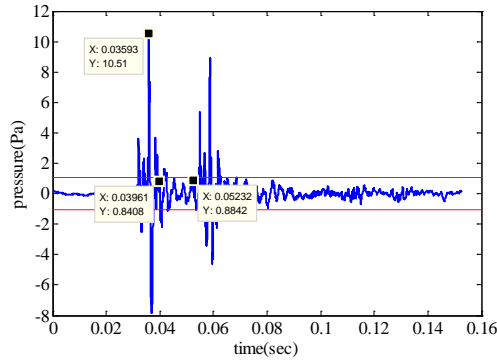


圖 20 a 型槍於 10 月 21 日距離 30m 的時間訊號特性

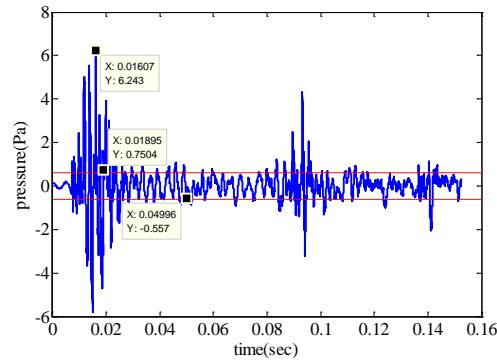


圖 21 a 型槍於 10 月 21 日距離 50m 的時間訊號特性

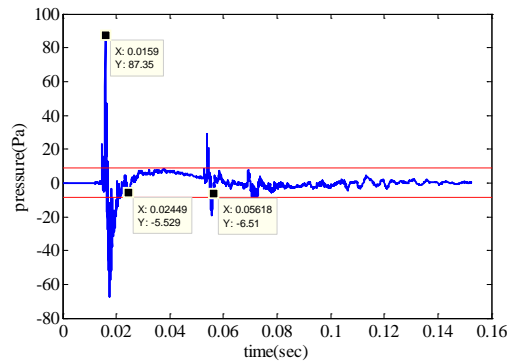


圖 22 b 型槍於 10 月 2 日距離 30m 的時間訊號特性

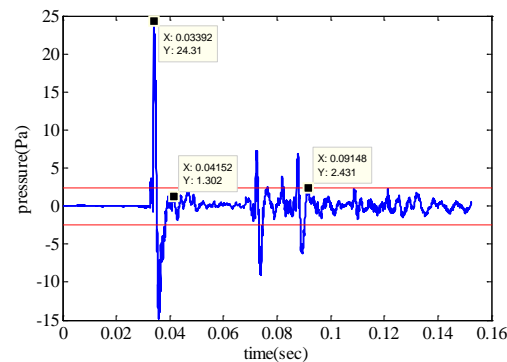


圖 23 b 型槍於 10 月 2 日距離 50m 的時間訊號特性

### 3.2 1/3 倍頻分析

以下就人耳可聽聲音頻率範圍20Hz至20KHz的槍砲脈衝噪音訊號，以1/3倍頻方式分析，並就量測位置、距離、裝藥量及口徑等四部份進行探討。

### 3.2.1 量測位置的影響(麥克風位置圖如圖 24)

圖25是b型槍在同距離、不同位置的1/3倍頻譜分析圖，由圖可以看出在左30m(▽)、左後30m(△)及右後30m(□)，其1/3倍頻譜分析圖其落點分佈概略相同，惟右30m(○)是位在水泥牆後方，其1/3倍頻譜分佈位置與其他三個位置明顯較低，研判應該是受水泥牆阻擋影響，另可發現聲能量開始產生衰減的地方大約是在200Hz至400Hz之間。

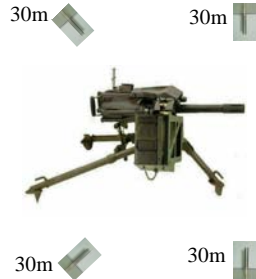


圖 24 b 型槍同距離不同位置與麥克風量測位置關係圖

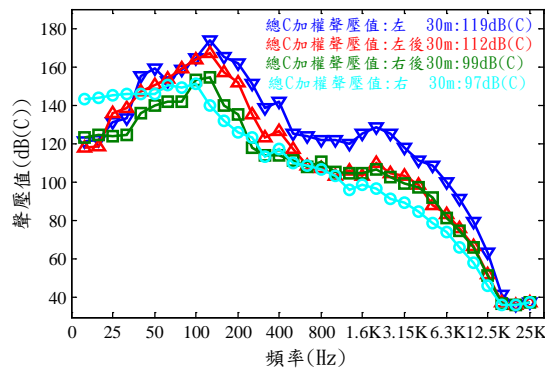


圖 25 b 型槍相同距離不同位置槍口噪音 1/3 倍頻譜圖  
(▽：左30m；△：左後30m；□：右後30m；○：右30m)

### 3.2.2 量測距離與位置的影響(麥克風位置圖如圖 26)

圖27是b型槍在距離與位置均不同的狀況下的1/3倍頻譜分析圖，由圖可以發現左70m(□)、左50m(△)及左30m(▽)這三條曲線，在距離上相差20m其所呈現的1/3倍頻譜圖是概略相等的，而聲能量開始產生衰減現象大概是在200Hz~400Hz的地方；另一個發現則是比較左30m(▽)及右30m(○)兩條曲線，其雖同樣在距離30m的地方所量測到的數據，但左右的位置對量測到的聲音音量卻有明顯不同，其所呈現的1/3倍頻譜圖右30m(○)的曲線要比左30m(▽)的曲線低20dB左右，分析其主要原因是右30m(○)的曲線是麥克風位於水泥擋牆後方量測的結果，說明了音量受水泥擋牆影響使音量減弱，進而證明水泥擋牆的功效。

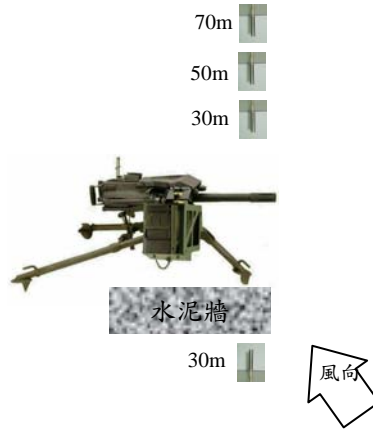


圖 26 b 型槍距離與位置均不同與平均風向及麥克風量測位置關係圖

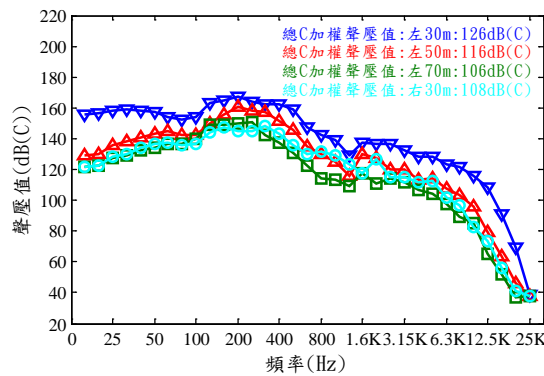


圖 27 b 型槍不同距離不同位置槍口噪音 1/3 倍頻譜圖  
(▽：左30m；△：左50m；□：左70m；○：右30m(水泥牆後方))

### 3.2.3 口徑的影響

圖28是大口徑武器在距離100m及小口徑武器在距離50m的1/3倍頻譜圖，由圖28可以發現，不論是何種口徑的砲或槍，所產生的音量大小及聲音傳播距離的遠近，都與彈藥裝藥量多寡及口徑大小有關，但是其聲能量開始產生衰減的頻率範圍大約都在200Hz~400Hz之間。因此，若要有效降低音量所產生的擾人問題，可以針對音頻的部份進行改善。

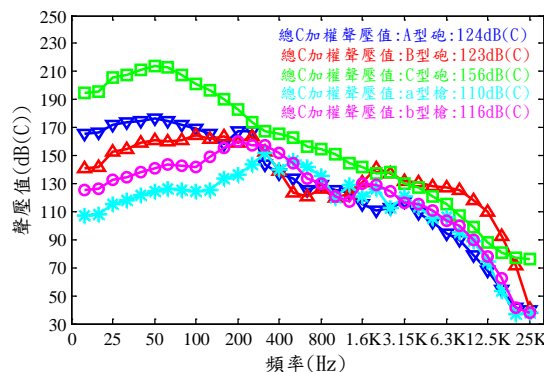


圖 28 不同口徑且砲口 100m 距離槍口 50m 的噪音 1/3 倍頻譜圖  
(▽：A 型砲；△：B 型砲；□：C 型砲；\*：a 型槍；○：b 型槍)

另外，在槍砲噪音中所產生的膛口衝擊波是膛口噪音的主要來源，因此，以膛口衝擊波對峰值頻率( $f_{max}$ )做個分析，由膛口衝擊波的典型方程式(1)至式(6)的推導過程中可

以發現，在自由聲場中，槍砲脈衝噪音的正音壓作用時間，即A持續時間 $t_A$ ，等同於衝擊波的正音壓持續時間 $t_m$ ，即 $t_A = t_m$  [viii, ix]。因此，當我們已知 $t_A$ 就可以求得峰值頻率( $f_{max}$ ) 在 1/3 倍頻程中心頻率位置，此理論將在下一章中進行驗證。

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ p_{max} (1 - t/t_m) * e^{-t/t_m} & 0 \leq t \leq t_m \\ 0 & t > t_m \end{cases} \quad (1)$$

式(12)中  $p_{max}$ —衝擊波波峰壓力； $t_m$ —衝擊波正音壓持續時間。

另將式(12)做傅利葉轉換可以得到：

$$F(\omega) = p_{max} * t_m \frac{j\omega t_m}{(1 + j\omega t_m)^2} \quad (2)$$

式(13)中  $\omega = 2\pi f$ —圓頻率。

其相對振幅的絕對值為：

$$\left| \frac{F(\omega)}{p_{max} * t_m} \right| = \frac{\omega t_m}{1 + \omega^2 t_m^2} \quad (3)$$

對式(14)的 $\omega t_m$ 求解，並取極大值：

$$\omega_{max} * t_m = 1 \quad (4)$$

$$2\pi f_{max} * t_m = 1 \quad (5)$$

$$\therefore f_{max} = \frac{1}{2\pi * t_m} \quad (6)$$

另表 3 所顯示的是透過式(6)，來計算各口徑脈衝噪音A持續時間與峰值頻率( $f_{max}$ )的關係，經由表 3 與圖 29 至圖 36 比對可以發現，所有經A持續時間計算出來的峰值頻率，與在 1/3 倍頻程的峰值頻率概略吻合。因此，我們從 1/3 倍頻分析中，得到槍砲噪音在自由聲場中，頻譜的峰值頻率就是膛口衝擊波產生的理論之外；另可以證明槍砲噪音的主要聲源就是膛口衝擊波[x, xi, xii]。

表 3 各口徑 A 持續時間與峰值頻率對照表

日期	武器類型	測點位置	A 持續時間 $t_A / ms$	峰值頻率 $f_{max}$
5 月 14 日	B 型砲	100m	0.0467	34
6 月 10 日	C 型砲	100m	0.0211	75
10 月 23 日	G 型砲	100m	0.0191	83
		150m	0.0179	88
10 月 21 日	a 型槍	30m	0.0037	430
		50m	0.0029	549
10 月 2 日	b 型槍	30m	0.0086	185
		50m	0.0076	209

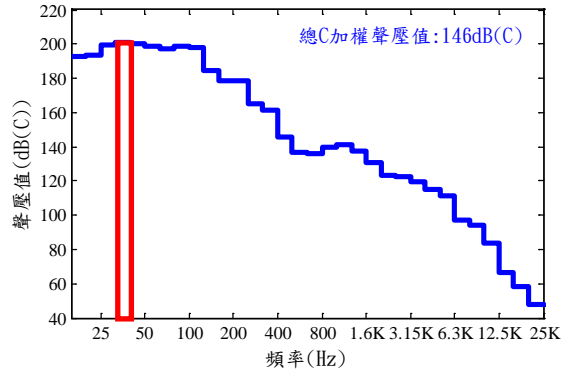


圖 29 B 型砲於 5 月 14 日左 100m 的 1/3 倍頻譜圖

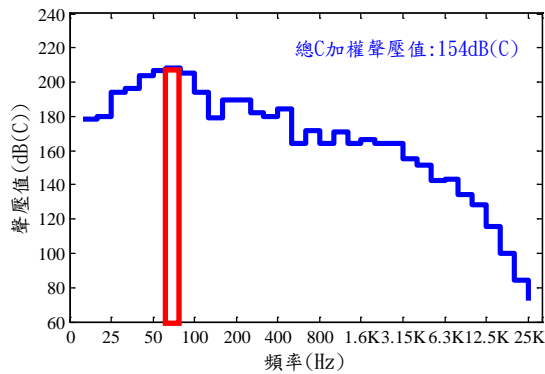


圖 30 C 型砲於 6 月 10 日右 100m 的 1/3 倍頻譜圖

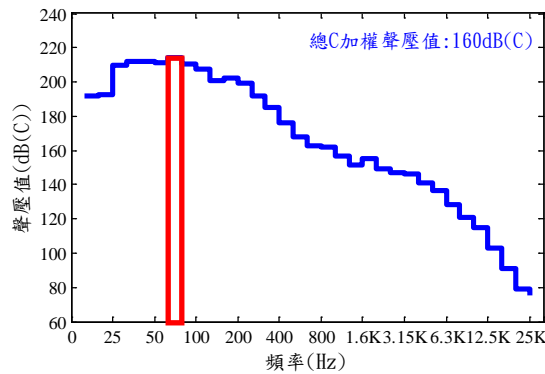


圖 31 G 型砲於 10 月 23 日左 100m 的 1/3 倍頻譜圖

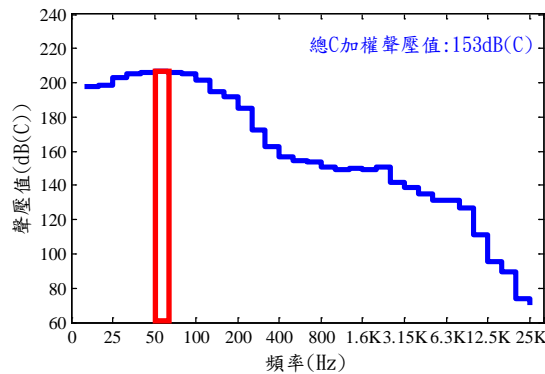


圖 32 G 型砲於 10 月 23 日左 150m 的 1/3 倍頻譜圖

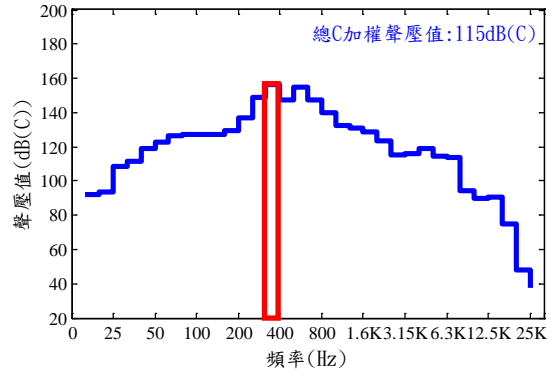


圖 33 a 型槍於 10 月 21 日右 30m 的 1/3 倍頻譜圖

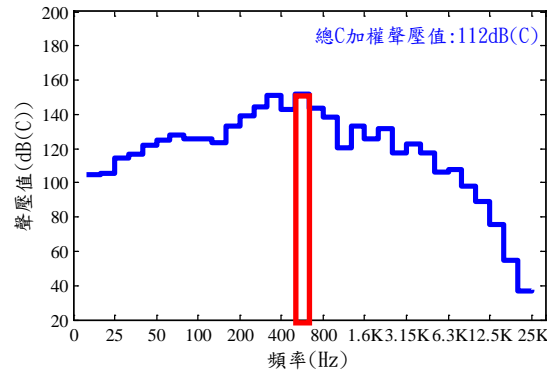


圖 34 a 型槍於 10 月 21 日右 50m 的 1/3 倍頻譜圖

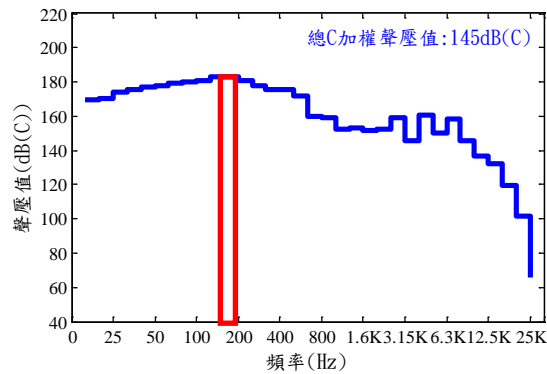


圖 35 b 型槍於 10 月 2 日左 30m 的 1/3 倍頻譜圖

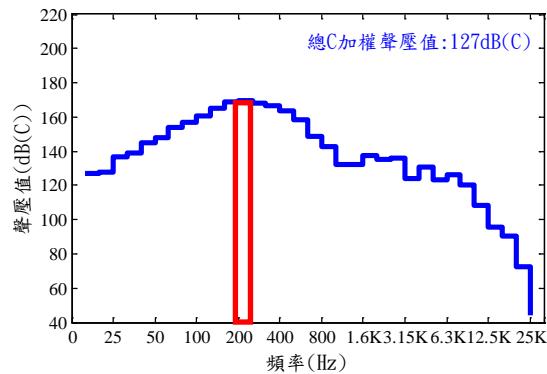


圖 36 b 型槍於 10 月 2 日左 50m 的 1/3 倍頻譜圖

#### 四、結論

各型武器射擊時所產生的槍砲噪音，會因口徑、距離及彈藥裝藥量彼此之間的關

係，產生不同的噪音值並對人體造成嚴重的影響。因此，為了改善槍砲噪音對週邊附近居民的影響及尋求解決方法，首先就必須從瞭解槍砲噪音的聲源特性做起。

所以，在防治上可參考美軍在2006年1月提出的報告，對於槍砲所產生的脈衝噪音，在其認定上以低頻的聲音居多[xiii]，另由第3節的分析與評估中也可以看出，各型槍砲的較高聲能量幾乎集中在200Hz以下，亦即低頻聲能量較多，中、高頻聲能量較少。因此，對於目前在槍砲噪音防治資源有限的情況之下，可參考美軍的作法，針對住家的門、窗、牆壁、樓板及天花板等地方，提供適宜的隔音防振材料補助，如板狀吸音材料，利用空心磚共振來削減音波能量，或是厚度及密度增加來使吸音效果增大，以減低槍砲噪音對附近住家產生的爆震現象。

## 五、未來研究方向

對於在未來研究方向部分，可以區分三個方向來進行：

### (1)問卷調查瞭解居民感受：

設計問卷調查表在每日射擊驗證或訓練的前、中、後三個時段，至附近住家實施問卷調查及訪談，瞭解附近居民在聽覺上對槍砲聲音的感受，來建立各種武器射擊時，居民對最大噪音量反感程度的數據資料表。

### (2)持續資料蒐集與數據分析：

各種口徑武器的射擊資料須持續蒐集，待數據資料較多時，在分析上即可針對裝藥量、口徑、風向等三者之間的關係進行比較；另若經費許可亦可增購動態範圍超過 180dB 以上之高感度麥克風，進行距離砲(槍)口 1m 的資料蒐集，並分析各種口徑武器的最大音量及頻譜分佈狀態。

### (3)建立數學模式評估槍砲音量：

除了將所蒐集之實驗數據做分析及評估，並結合問卷調查的結果，初步建立槍砲噪音防治規範及標準之外，亦可將口徑、彈藥裝藥量及 A、B 持續時間彼此之間的關係結合聲音傳遞公式建立一套數學模式，來估算槍砲脈衝噪音的音量大小及聲阻抗的衰減狀況，以便瞭解國軍在執行演訓任務與武器測試工作時，該使用何種隔音或吸音的材料，來降低噪音對附近社區及居民的影響，最後期望成為軍事單位與政府機關定訂法條的參考依據。

## 六、參考文獻

- [i] <http://maps.google.com.tw/maps?hl=zh-TW&tab=wl>
- [ii] 王秉義，槍砲噪音與爆炸聲的特性和防治，國防工業出版社，北京，第193-194頁，2001。
- [iii] U.S. Army, "Environmental Protection and Enhancement," Army Regulation 200-1 Department of the Army Washington, DC, pp. 20-22, 1997.
- [iv] U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine, "Operational Noise Management: An Orientation Handbook for Army Facilities," Nov. 2005.
- [v] Larry L. Pater, Edward T. Nykaza, George Luz, Anthony Atchley, Kathleen Hodgdon, Robert Baumgartner, and Pamela Rathbun, "An Investigation of Community Attitudes Toward Blast Noise : Methodology," US Army Corps of Engineers, ERDC/CERL SR-07-24, pp. 1-3, 2007.
- [vi] 同[2]，第31頁。
- [vii] 同[2]，第46-49頁。
- [viii] 同[2]，第51-52頁。
- [ix] 同[2]，第56-57頁。
- [x] 同[2]，第31頁。
- [xi] 同[2]，第41-43頁。
- [xii] 同[2]，第32-34頁。
- [xiii] "Installation Environmental Noise Management Plan," FORT CARSON, COLORADO, pp. 133-139, 2006.