

機砲後座力估測與實測之研究

馬志高* 何志成**

*國防大學中正理工學院造船工程學系

**國防大學中正理工學院國防科學研究所

摘 要

機砲射擊時所產生的後座力值為砲架、砲塔或其他相關支撐結構的重要設計參數。本文旨在探討如何估算及量測機砲射擊時所產生的後座力。文中首先參考 20 公厘機砲射擊訓練彈 (TP 彈) 時的相關數據，利用衝量—動量原理及經驗公式進行平均後座力的理論估算。接著利用由力感測器、訊號放大器、動態訊號分析儀及測試台等所建立之後座力量測系統，對機砲在不同射速下之實際後座力進行量測。由後座力量測歷時結果可知，機砲射擊時所產生的後座力共有三處峰值，作用時間約為 70ms。20 公厘機砲後座力最大值約為 25000 牛頓，平均後座力約為 2622 牛頓，其中平均後座力量測結果與理論估算值 2125 牛頓比較還算吻合。

關鍵字：後座力、20 公厘機砲、力感測器

Estimation and Measurement of Recoil Forces of a Machine Gun

*Chih-Kao Ma and **Chih-Cherng Ho

**Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*

***Department of System Engineering
Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*

ABSTRACT

The recoil forces estimation of machine guns is an important task for the design of support structures (e.g. turret). The purpose of this study is to investigate the recoil forces of a 20mm machine gun. In this study, the impulse-momentum principle and empirical formula were used to estimate the averaged recoil forces of the machine gun. This study has developed an experimental apparatus to measure the recoil forces. The equipment consists of a load cell, signal conditioner, dynamic signal analyzer and testing table. The time histories of the measured recoil forces demonstrate that there are three peak values and the time interval is about 70ms. The maximum value of recoil forces of the 20mm machine gun is about 25000 newtons. The averaged value of measured recoil forces is about 2622 newtons. The estimation result shows reasonable agreement with the measurement results.

Key Words: recoil force, 20mm machine gun, load cell

文稿收件日期 92.10.1; 文稿修正後接受日期 93.4.6.
Manuscript received October 1, 2003; revised April 6, 2004.

一、前言

國造20公厘機砲現已廣泛安裝於我國陸軍碉堡、海軍艦艇及空軍防砲陣地中，而其火力及射程均為國造個人操作武器中之最佳者，因此也己成為三軍在建軍戰備過程中共同首選的武器之一。由於機砲射擊時所產生的後座力為砲身支承或載台結構實際承受的主要動態負荷，因此後座力的大小不但影響機砲基座、砲架或載台的結構設計，也和此武器系統之可靠度及射擊精度有密切關係。

機砲為一常見且被廣泛應用的武器系統，但在已公開之相關文獻中，大多為探討機砲所使用的材料、製造方式、戰鬥性能以及機砲與載具結構間的相互關係。而有關機砲高速射擊時所產生的後座力，實際量測的方法及詳細資料與數據則相當有限。在文獻[1]中利用有限元素法進行砲塔及載具結構之應力分析，以確保所有結構物在機砲射擊及不同地形行駛時，其結構應力值均能在安全範圍內。文獻[2]中探討在不同現有裝甲運兵車上加裝遙控操作機砲之可行性，其中包括美造M113型裝甲運兵車。文獻[3]中利用加速度規量測載具上火砲射擊時砲口之加速度值，其中最高可達14Gs；另外也探討火砲射擊時，砲口所產生的爆震波對射擊手的影響。文獻[4]中利用有限元素法分析砲塔在機砲射擊時之動態反應，其中考量後座力及爆焰熱梯度等二種作用負荷。文獻[5]中也利用有限元素法計算方陣快砲 (PHALANX Close-In-Weapons System) 在射擊狀態下砲口之位移值，此計算值與實際量測值比較相當吻合。在文獻[6-12]中則分析了各種影響機砲後座力的因素，並介紹相關估算後座力的近似或經驗公式。

綜觀上述的參考文獻，機砲射擊時所產生的後座力與支撐結構設計具有密不可分的關

係。因為在設計砲架、砲塔或基座等裝置時，除了考慮裝置本身、相關操作裝備、機砲及射擊手等重量靜態負荷外，另外也需考慮機砲射擊時所產生的後座力動態負荷。有關國造20公厘機砲射擊時所產生的後座力，可以利用相關理論及經驗公式估算，但此方式僅能得到後座力的平均值，而無法得到後座力實際歷時狀況。為使砲塔或砲架結構之應力分佈能得到正確的分析結果，及研判機砲射擊時各機構是否正常運作，必須有效得到機砲射擊時所產生後座力之完整歷時圖(Time History)。本研究利用力感測器、訊號放大器、動態訊號分析儀及測試台等儀器設備，建立一套機砲後座力量測系統，以精確量測機砲在不同射速下後座力之完整歷時圖。由於機砲在高速射擊時所產生之後座力，其值不但很大且歷時非常短暫(通常僅有幾拾微秒)，也因此本研究所建立之機砲後座力動態量測系統，其訊號擷取及記錄速度必須非常高，如此才能準確量測機砲射擊時後座力完整的歷時過程。

本研究首先利用衝量-動量原理及經驗公式，推導 20 公厘機砲平均後座力估算方法。接著針對 20 公厘機砲在不同的射速條件下，進行機砲後座力的實際量測。透過不同的量測儀器及多次的實際量測，可驗證本研究所建立的機砲後座力量測系統，具有高速擷取及記錄能力，可有效完整量測機砲在不同射速下之後座力。由量測結果與理論估算結果的比較可知，兩種方法所得之 20 公厘機砲平均後座力平均值還算吻合。

二、20 公厘機砲後座力理論估算

2.1 機砲後座力計算公式推導

首先假設機砲的邊界條件為自由放鬆，此

狀況所推導出之結果可稱為自由後退(Free Recoil)。對一機砲受到外力作用後，其受力方向的動量必會改變。根據衝量-動量原理，物體的動量變化量等於物體所受到的衝量[6]，亦即

$$M_r V_r = \int_0^t F_g dt \quad (1)$$

$$F_g = P \times A \quad (2)$$

式中

F_g ：氣體作用於砲管斷面之力

P ：膛壓

A ：砲膛斷面積

M_r ：砲身質量

V_r ：砲身後退速度

t ：氣體有效作用時間

一般而言，機砲所受到的衝量可由 P-t 圖(壓力時間圖)之面積積分求得。

又根據動量守恆，在彈頭出砲口時可得下式[6-7, 12]：

$$M_r V_r = M_b V_b + M_c V_c \quad (3)$$

式中

M_b ：彈頭質量

M_c ：發射藥質量

V_b ：彈頭出砲口初速

V_c ：發射藥氣體速度

而彈頭出砲口時，彈尾處之氣體速度亦為 V_b ，但氣體在機砲鼓輪處之速度則為零，故可取速度平均值 $V_c = 0.5V_b$ 。則(3)式可改寫為[6]：

$$M_r V_r = (M_b + 0.5M_c)V_b \quad (4)$$

另外彈頭出砲口後仍然有氣體噴出，使砲身繼續往後退，直到膛壓等於大氣壓為止。故砲身最大後退動量可由下式得到：

$$M_r V_f = (M_b + 0.5M_c)V_b + I_c \quad (5)$$

式中

V_f ：砲身最大後退速度

I_c ：彈頭出砲口後氣體供給的動量

I_c 可用下列 H.Kratg 近似公式求得：

$$I_c = \frac{2AL_r P_1}{r(V_b + V_a)} \left[1 - \frac{P^*}{P_1} + \frac{V_b + V_a}{(r+1)V_a} \left(\frac{P^*}{P_1} \right)^{1/2} \right] \quad (6)$$

式中

P_1 ：砲口壓力

r ：發射藥氣體比熱

L_r ：砲管自由空間長度

V_a ：彈頭出砲口時之臨界音速

P^* ：時間 t^* 時之膛壓

$$t^* = \frac{L_s(V_b - V_a)}{V_b \times V_a} \quad (7)$$

L_s ：砲管長度(由砲口至藥筒內部底面)

$$V_a = \sqrt{2g \times \frac{r}{r+1} \times P_1 \times \frac{U_m}{M_c}} \quad (8)$$

U_m ：砲管自由空間

g ：重力加速度

對於發射氣體全部動量可以下列經驗公式求

出：

$$0.5 M_c V_b + I_c \approx 4700 M_c \quad (9)$$

其中 4700 為發射藥產生氣體的平均速度經驗值[6、10]，其單位為 ft/sec。因此， M_r 最大後退動量，可由下列簡單的近似公式估算：

$$M_r V_f = M_b V_b + 4700 M_c \quad (10)$$

式中

V_f ：砲身最大後退速度

由(10)式中可以求得砲身最大後退速度：

$$V_f = \frac{M_b V_b + 4700 M_c}{M_r} \quad (11)$$

接著利用(11)式可得到機砲最大後退動能 [7, 9, 11]：

$$R = \frac{1}{2} \frac{(M_b V_b + 4700 M_c)^2}{M_r} \quad (12)$$

而機砲後座力作用時間是從砲彈擊發到滑板復進到位為止。亦即滑板後退與復進之全部時間，所以滑板後退與復進一次循環的時間(轉輪轉動一發砲彈的間隔時間)包括下列各時段：

$$t_f = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (13)$$

式中

t_0 ：砲彈由擊發開始，到達導氣孔之時間

t_1 ：氣筒進氣至啟動滑板之時間

t_2 ：氣體推動滑板，滑板加速後退時間

t_3 ：滑板減速後退時間

t_4 ：滑板復進時間

其中 t_0 可由已知之膛壓曲線查得。且若驅動簧最初張力、驅動簧常數、機械效率、後退質量、後退組件獲得之最大速度等參數值皆為已知，則其餘時段 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 可由相關公式計算得出[6]。

若作用時間 t_f 已知，則可求出機砲平均後座力[6]：

$$F_r = \frac{M_r V_r}{t_f} \quad (14)$$

由於 20 公厘機砲驅動彈簧最初張力、驅動簧常數、機械效率等參數值無法得知，本研究利用 20 公厘機砲後座力實際量測結果估算後座力作用時間 t_f (約為 70 msec)。

2.2 20 公厘機砲後座力之計算

本研究參考 20 公厘機砲射擊訓練彈(TP 彈)時的相關數據[13]，利用前節所推導之各公式計算其後退速度、後退動量與後退動能。

其中

發射藥質量 M_c ：33 g

彈頭質量 M_b ：98.56 g

砲身總質量 M_r ：85 kg

彈頭初速 V_b ：1030 m/s

制退復進簧作用時間：70 msec

利用 (10) 式可得：

$$\begin{aligned} M_r V_f &= M_b V_b + 4700 \left(\frac{ft}{sec} \right) M_c \\ &= M_b V_b + 1432.5 \left(\frac{m}{sec} \right) M_c \end{aligned}$$

將上列數據代入，可求得最大後退速度：

$$V_f = 1.75 \left(\frac{m}{sec} \right)$$

而後退動能為：

$$R = \frac{1}{2} M V_f^2 = \frac{1}{2} \times 85 \times 1.75^2 = 130.15(J)$$

因此由(14)式可求得 20 公厘機砲射擊時所產生之平均後座力值：

$$F_r = \frac{M_r V_f}{t_f} = \frac{85 \times 1.75}{70 \times 10^{-3}} = 2125(N)$$

三、20 公厘機砲後座力實際量測

3.1 20 公厘機砲後座力量測

為能實際瞭解並驗證國造 20 公厘機砲射擊時所產生後座力完整歷時過程，本研究利用相關儀器設備，共進行二次機砲後座力量測實驗。在進行 20 公厘機砲後座力量測時，機砲砲身水平架設於一非常堅固之測試台上(如圖 1)，此測試台固定於鋼性地面上，以完全承受機砲射擊時所產生之後座力。另外在量測前，必須先將此機砲之緩衝裝置拆除，並安裝一僅可前後滑動之導軌裝置(如圖 2)，以有效量測到機砲射擊時所產生後座力的完整歷時圖。由於機砲後座力作用時間非常短(僅有幾拾微秒)，加以其中有許多變化，所以所使用的動態訊號分析儀，其取樣頻率必須夠高，如此才能完整並準確量測到後座力的歷時過程。另外為了驗證機砲後座力量測結果的正確性，本研究分別利用兩套動態訊號分析儀及兩種力感測器進行機砲後座力量測。

3.2 20 公厘機砲後座力第一次量測實驗

此次量測所使用之儀器設備如下(實驗設備與量測儀器佈置如圖 3)：

- (a) 應變式力感測器(HBM, C2/5T)
- (b) 壓電式力感測器(PCB, 208C05)
- (c) 訊號放大器(MGC PLUS, ML-10)
- (d) 動態訊號分析儀(HP 35670A)

本次 20 公厘機砲後座力量測利用兩種不同型式之力感測器(主要性能規格如表一)，以驗證量測結果的可靠度及精確度。亦即本次量測採用下列二種儀器組合方式來進行機砲後座力量測：

1. 第一種組合

應變式力感測器 → MGC PLUS ML-10
→ HP 35670A

2. 第二種組合

壓電式力感測器 → HP 35670A

本次量測採用 HP 35670A 動態訊號分析儀，此分析儀最高取樣頻率可達 102.4kHz。而力感測器則採用兩種不同型式。其中第一種力感測器為應變型式，而第二種則採用壓電型式。上述兩種力感測器皆可有效量測到 20 公厘機砲，在不同射速狀況下後座力之完整歷時過程。

表一、應變式與壓電式力感測器主要性能規格

感測器種類	應變式力感測器	壓電式力感測器
廠家型號	HBM, C2/5T	PCB, 208C05
敏感度	2 mV/V	224.82 mV/kN
量測範圍	50 kN	2.224 kN
非線性	< 0.1%	< 1%
操作溫度範圍	-10~70 °C	-54~121 °C
激振電壓範圍	0.5~12 V	20~30 V

本次量測所使用之動態訊號分析儀 HP 35670A 具有 Time Capture 功能，此功能可使 HP 35670A 成為一具有高速擷取數據能力之記錄器。但記錄時間的長度及解析度的高低，則受到 HP 35670A 內建記憶體大小的限制。另外由於所有量測數據僅能記錄於軟碟中，因此對記錄高解析度量測數據此步驟將相當費時。此

次 20 公厘機砲後座力量測共考慮(a)單發射擊
(b)400 發/分(c)800 發/分(d)1200 發/分等四種射
速。



圖 1. 20 公厘機砲後座力量測測試台。



圖 2. 20 公厘機砲後座力量測導軌裝置。

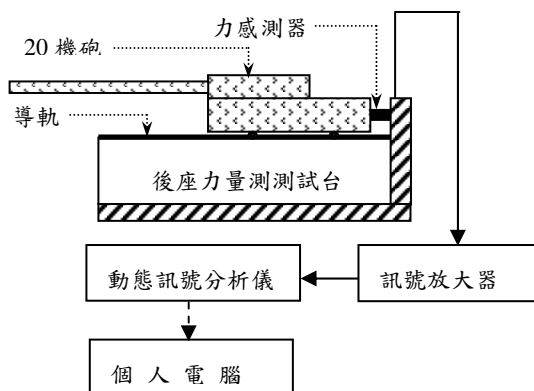


圖 3. 20 公厘機砲後座力量測系統示意圖。

圖 4 至圖 18 為利用應變式力感測器量測 20 公厘機砲後座力的結果，圖 19 至圖 23 則為利用壓電式力感測器所得後座力的量測結果。由上述兩組量測結果比較可知，兩種力感測器所量測到的後座力歷時圖型態還算一致，但大小則有相當差異。研判造成原因可能是壓電式力感測器最大動態量測範圍為 5000lb(22241N)，而由應變式力感測器所量測到機砲後座力最大值約為 25000N，可知 20 公厘機砲射擊時所產生之後座力已超過壓電式力感測器最大可量測範圍。

3.3 20 公厘機砲後座力第二次量測實驗

為了能確認 20 公厘機砲後座力量測所使用動態訊號分析儀 HP 35670A 之可靠度及準確度，本研究利用另外一套動態訊號分析儀(dsp SigLab, Model 20-42)及訊號放大器(ENDEVCO, Model 136)進行後座力量測。此套訊號分析儀必須搭配筆記型電腦操作，如此在記錄大量量測數據時將非常快速(直接存入硬碟中)，但此分析儀之最高取樣頻率僅有 20kHz。圖 24 至圖 27 則為利用 SigLab 動態訊號分析儀所量測出後座力之歷時圖。由兩組量測結果比較可知，兩種不同型式之動態訊號分析儀所量測到的後座力歷時圖無論大小及型式均非常一致。此點可說明本研究所使用之儀器設備之可靠度及精確度已合乎要求。不過由於 SigLab 分析儀的取樣頻率遠低於 HP 35670A 分析儀，因此在利用 SigLab 訊號分析儀量測 20 公厘機砲最高射速(1200 發/分)狀況下之後座力時，無法有效獲得後座力之完整歷時過程。

四、結果分析與討論

4.1 機砲後座力實測能量的建立

比較後座力的理論估算與實際量測結果可知，利用理論方法僅能推估後座力的平均近似值。有關完整的後座力歷時大小仍需透過實際量測獲得，所以建立機砲後座力實測能量以獲得後座力參數為進行相關結構設計的必要工作。又根據第一次及第二次後座力實際量測結果的比較可知，本研究中所建立由應變式力感測器、訊號放大器、及動態訊號分析儀所組成的量測系統，能有效量測 20 公厘機砲在各種射速狀況下的後座力。此套量測系統可進一步作為建立其他型式機砲或輕兵器後座力量測能量的參考。

4.2 20 公厘機砲後座力量測結果與討論

4.2.1 單發狀況下射擊

為驗證系統、測試台及導軌裝置等的可靠性，此射速狀況共射擊 9 發。由後座力歷時圖(圖 4~12)可清楚看出，在後座力作用時間內共有三處峰值，總歷時大約為 70ms。其中第一峰值為膛壓所造成，第二峰值為彈頭出砲口時火藥產生的氣體所造成，第三峰值則為復進簧伸張所造成之後座力。由量測結果可看出前 4 發後座力之最大值(約為 25000N)非常接近，但後 3 發後座力之最大值則增加至 33000N。研判造成原因可能是經過前 4 發射擊後，機砲砲身和應變式力感測器間已有間隙產生，因此後 3 發射擊時，機砲砲身對力感測器已不是以接觸方式施力，而是以撞擊方式施力，如此也造成後座力最大值增大許多。此點也可由適當調整砲身與力感測器間位置後，最後 2 發之後座力最大值又降回到 25000N 得到證明。另外，後座力歷時圖中三處峰值處均伴隨有一較小峰值，研判造成原因應為機砲砲身壓縮到導軌裝置頂端之優力膠後反彈所造成。

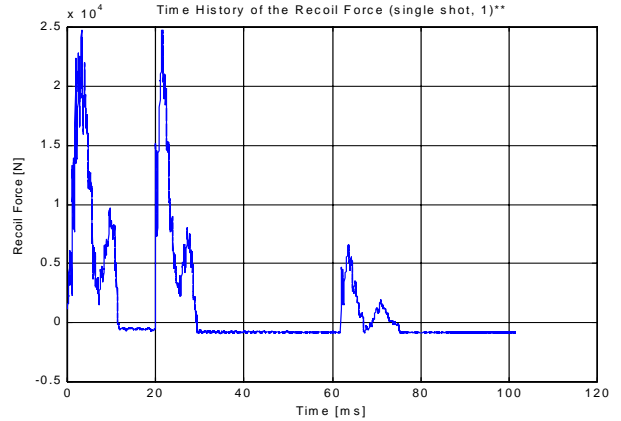


圖 4. 20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第一發射擊)。

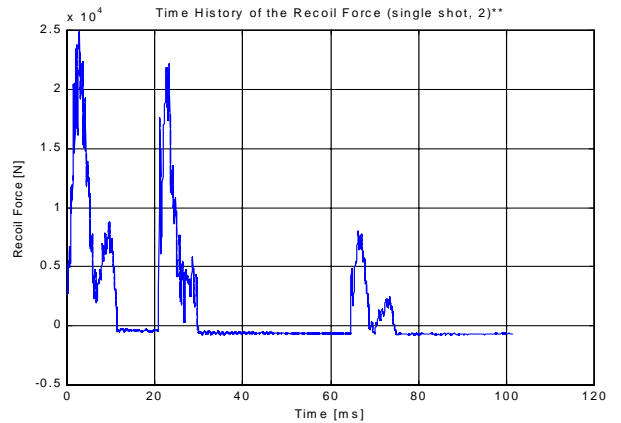


圖 5. 20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第二發射擊)。

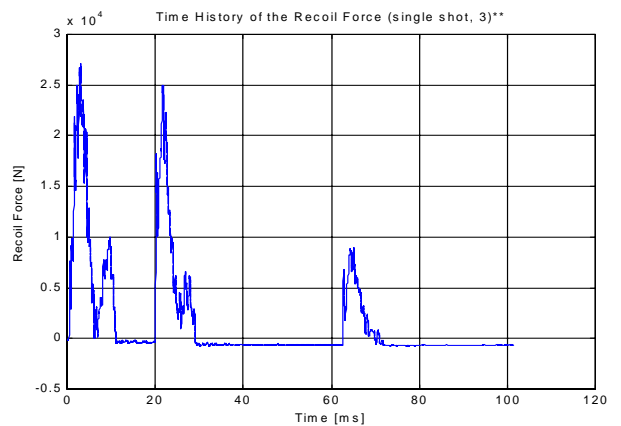


圖 6. 20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第三發射擊)。

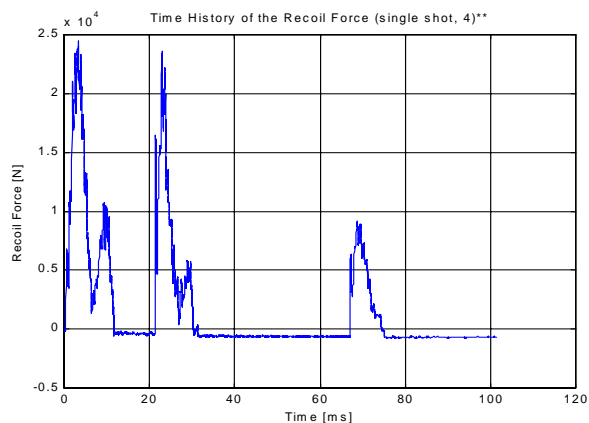


圖 7.20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第四發射擊)。

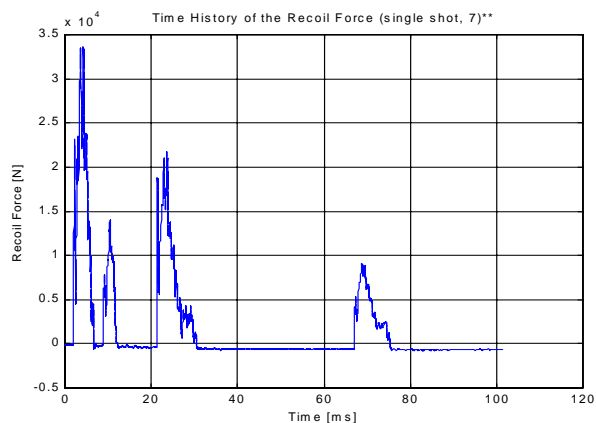


圖 10.20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第七發射擊)。

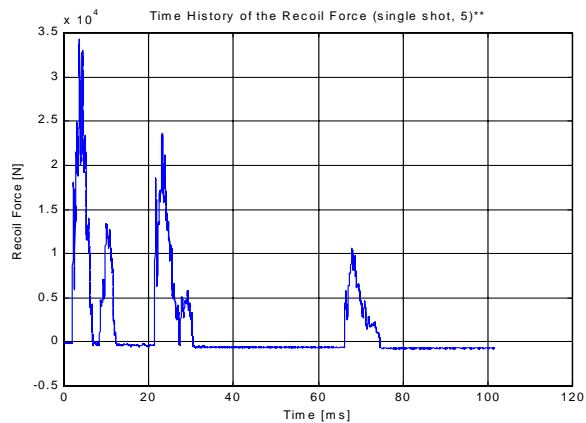


圖 8.20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第五發射擊)。

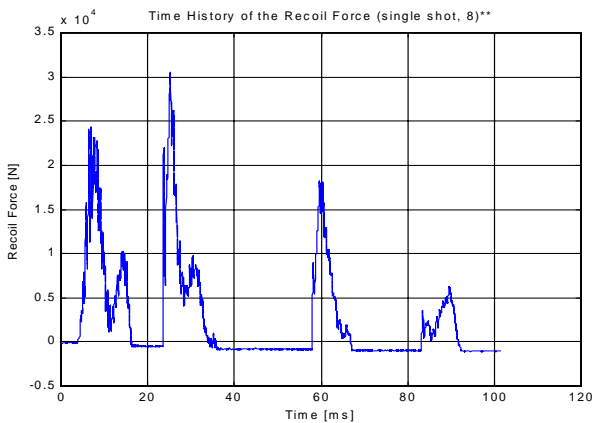


圖 11.20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第八發射擊)。

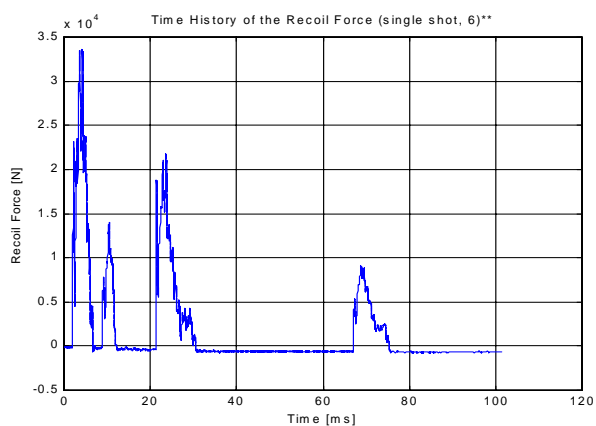


圖 9.20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第六發射擊)。

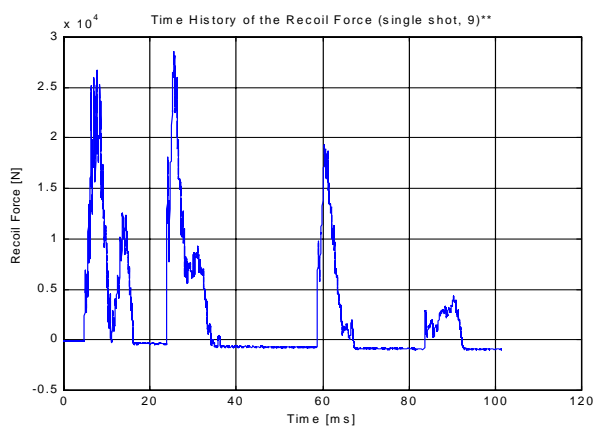


圖 12.20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖
(使用應變式力感測器，第九發射擊)。

4.2.2 射速 400 發/分 狀況下射擊

在此射速狀況下 20 公厘機砲共射擊兩次，每次均射擊 5 發。由量測結果可清楚看出，每發後座力歷時過程中依然有三處峰值(如圖 13 及 14)。另外由射擊 5 發共歷時 0.72 秒，可推算出機砲射速為 416 發/分，此值與所設定的射速相當吻合。在進行高速連續射擊時，整個後座力作用歷時過程中會有負值產生，造成原因可能是應變式力感測器之訊號放大器無法在射擊過程中立即歸零。

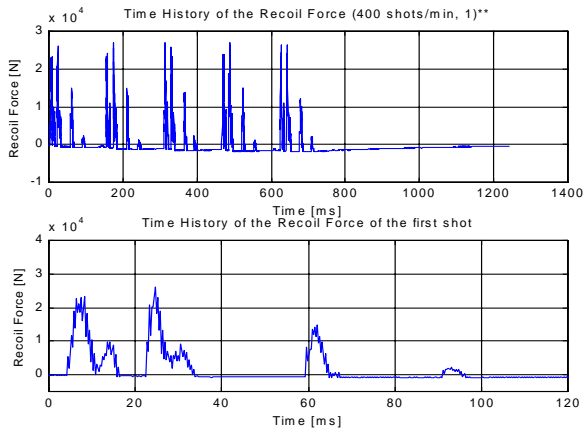


圖 13. 20 公厘機砲在射速 400 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用應變式力感測器，第一次射擊)。

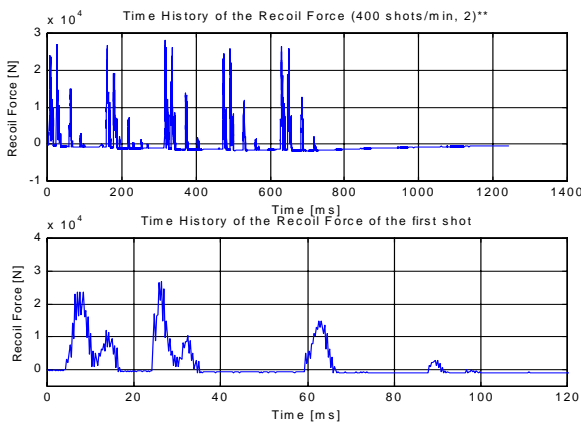


圖 14. 20 公厘機砲在射速 400 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用應變式力感測器，第二次射擊)。

4.2.3 射速 800 發/分 狀況下射擊

在此射速狀況下 20 公厘機砲共射擊兩次，第一次射擊 4 發共費時 0.335 秒，可推算出射速為 716 發/分。第二次射擊 6 發共費時 0.53 秒，射速估算為 720 發/分。上述二實際射速值均略低於設定射速值。另外由量測結果也可看出，每發後座力歷時過程中，同樣具有三處峰值(圖 15 及 16)。在此射速下進行後座力量測時，已特別注意機砲砲身與力感測器間是否有間隙產生，因此所量測出後座力之最大值已較為一致。

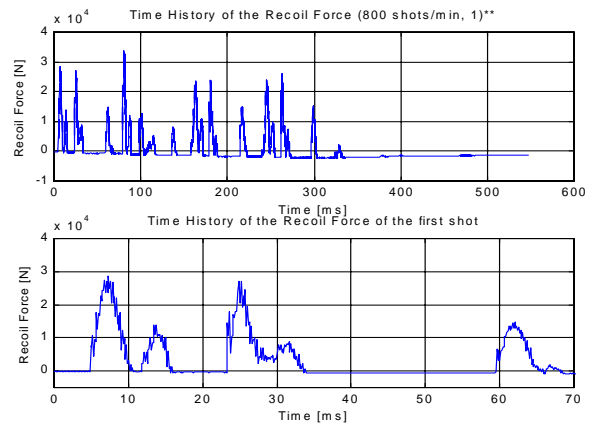


圖 15. 20 公厘機砲在射速 800 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用應變式力感測器，第一次射擊)。

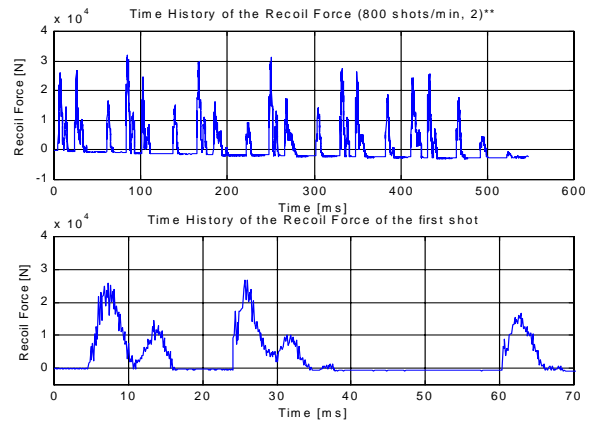


圖 16. 20 公厘機砲在射速 800 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用應變式力感測器，第二次射擊)。

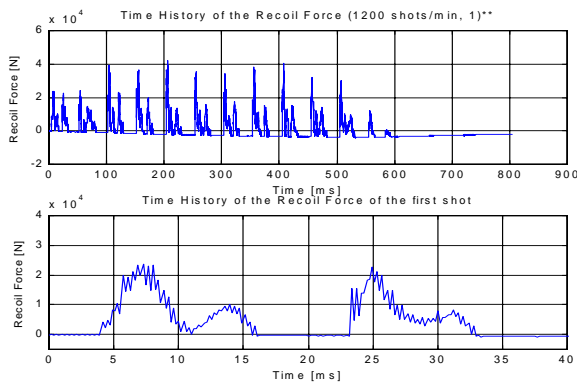


圖 17. 20 公厘機砲在射速 1200 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用應變式力感測器，第一次射擊)。

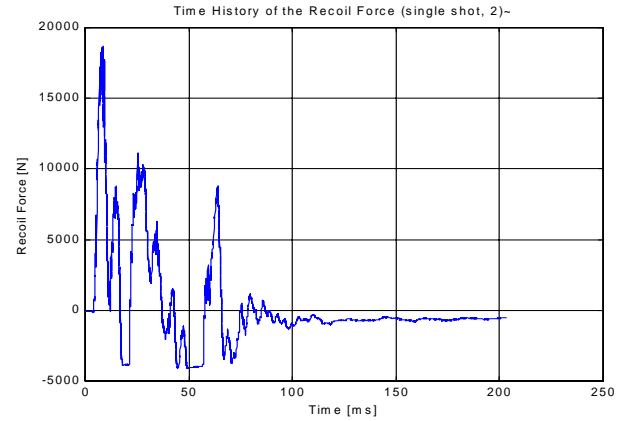


圖 20. 20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖(使用壓電式力感測器，第二發射擊)。

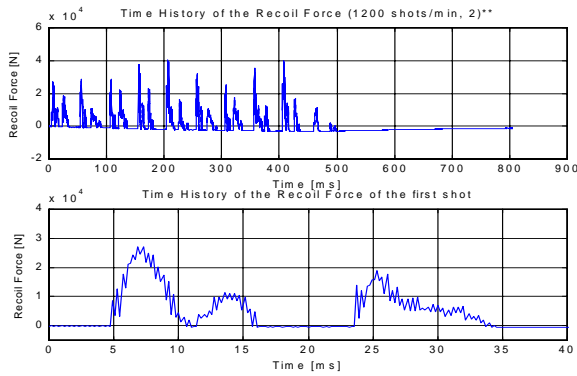


圖 18. 20 公厘機砲在射速 1200 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用應變式力感測器，第二次射擊)。

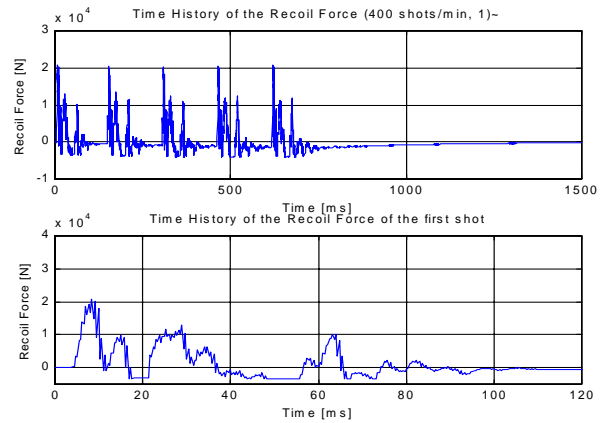


圖 21. 20 公厘機砲在射速 400 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用壓電式力感測器)。

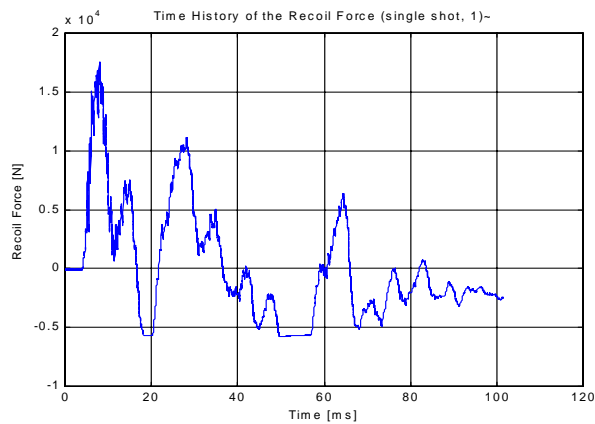


圖 19. 20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖(使用壓電式力感測器，第一發射擊)。

4.2.4 射速 1200 發/分 狀況下射擊

在此射速狀況下 20 公厘機砲共射擊兩次，第一次射擊 11 發共費時 0.6 秒，射速估算為 1100 發/分，第二次射擊 9 發共費時 0.5 秒，估算射速為 1080 發/分。同樣上述二實際射速值均低於設定射速值，造成原因值得機砲設計單位進一步探討。此射速狀況為 20 公厘機砲最高設定射速，由量測歷時結果顯示每發射擊僅有 2 處峰值(圖 17 及 18)。而在其他較低射速狀況下射擊時，均有三處峰值出現。此差異造成原因可能是在最高射速狀況下射擊，第三個

峰值(制退復進機構所產生的後座力)尚未產生，而下一發砲彈已開始擊發。此點可由在射速 1200 發/分狀況下射擊，二次射擊之最後一發後座力歷時圖中依然有三處峰值可得到證實。

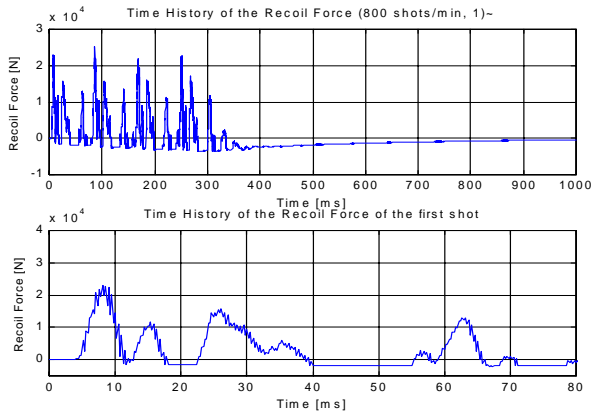


圖 22. 20 公厘機砲在射速 800 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用壓電式力感測器)。

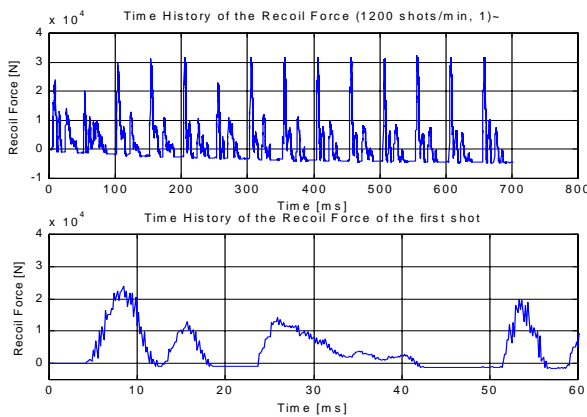


圖 23. 20 公厘機砲在射速 1200 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用壓電式力感測器)。

4.3 後座力平均值理論估算與量測結果比較

利用實際量測所得完整後座力歷時數據，可以計算求得後座力作用所產生之衝量(後座力對時間之關係圖積分)。此衝量即等於機砲的動量變化量，將此衝量除以後座力總作用時間，就可以得出機砲射擊時所產生的後座力平均值。經計算，20 公厘機砲後座力平均

值的量測結果約為 2622 牛頓，此結果與理論估算值 2125 牛頓比較還算吻合。

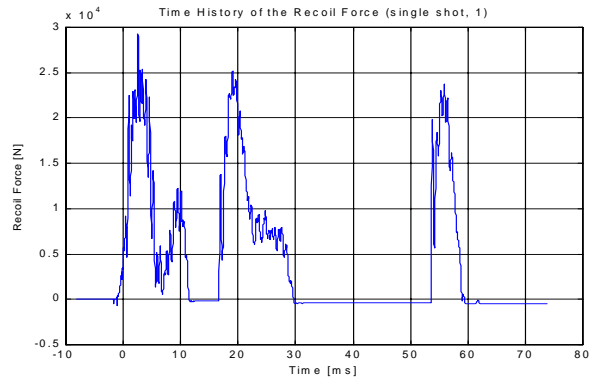


圖 24. 20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖(使用 SigLab 及 ENDEVCO, 第一發射擊)。

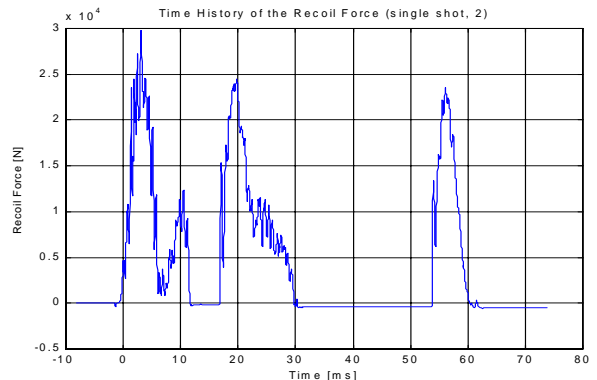


圖 25. 20 公厘機砲單發射擊後座力量測歷時圖(使用 SigLab 及 ENDEVCO, 第二發射擊)。

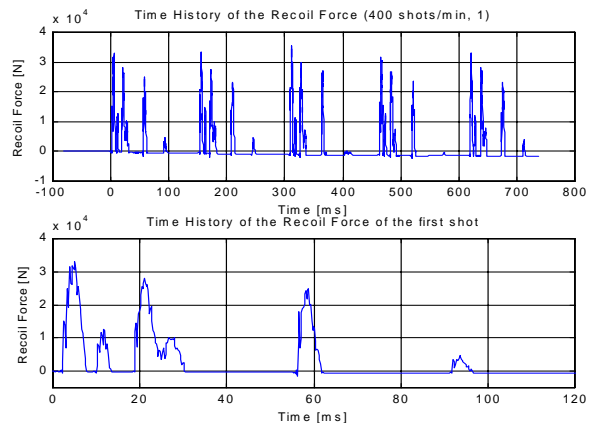


圖 26. 20 公厘機砲在射速 400 發/秒狀況下後座力量測歷時圖(使用 SigLab 及 ENDEVCO)。

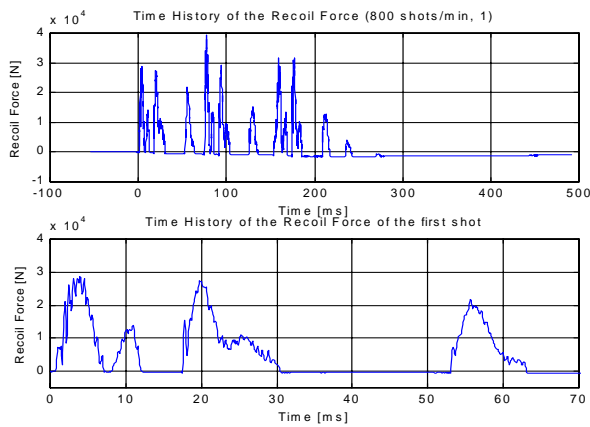


圖 27. 20 公厘機砲在射速 800 發/秒狀況下後座力量
測歷時圖(使用 SigLab 及 ENDEVCO)

五、結論

本文主要針對國造 20 公厘機砲射擊時所產生的後座力，進行理論分析估測及實際量測研究。其中後座力的理論估算值係利用 20 公厘機砲射擊訓練彈(TP 彈)時相關數據及參數，代入利用動量—衝量定理及經驗公式導出的估算式所得。而在機砲後座力的實際量測方面，本研究建立了一套機砲後座力量測系統，此系統是由應變式感測器、訊號放大器、動態訊號分析儀及測試台所組成，具有高速擷取及記錄數據的能力，可有效完整量測機砲在不同射速狀況下之後座力。由後座力歷時量測結果可知，機砲射擊時所產生之後座力共有三處峰值，其作用時間大約為 70 msec。機砲後座力最大值約為 25000 牛頓，後座力平均值約為 2622 牛頓，此量測結果與理論估算值 2125 牛頓比較還算吻合。本研究未來後續工作將包括進一步考慮緩衝裝置作用下，機砲射擊時後座力的實際量測。另外也將考慮結合其他機械設計方法，將量測所得後座力值應用在武器系統支撐或載台結構的應力分析及可靠度設計的問題上。

參考文獻

- [1] Khourdaji, S., "Finite Element Stress Analysis for Component Advanced Technology Test Bed (CATTB)," NTIS: AD-A228 389/3, May 1990.
- [2] Kirkup, S. P., "Remotely Operated Automatic Cannon for Armored Vehicles," NTIS: AD-A143 158/4, March 14, 1983.
- [3] Hundley, T. A. and Haley, J. L., "Measurement of Gunner Head Acceleration during Firing of High Impulse Guns on Lightweight Armored Vehicles and Assessment of Gunner Tolerance to Such Impact," NTIS: AD-A191 615/4, July 1987.
- [4] Khourdaji, S., "Response Analysis for ATAS Turret Under Gun Shock, Thermal Gradient and Dynamic Vibrations Using Finite Element Analysis," NTIS: AD- A275853/0, Nov. 26, 1993.
- [5] Peterschmidt, J. C., "Normal Modes of Vibration of the PHALANX Gun," Master thesis of Naval Postgraduate School, June 1993.
- [6] 喻盛地，輕兵器設計技術手冊，聯勤第二〇五廠，Vol. 10，pp. 146-156，1986.
- [7] Edward Matunas, American Ammunition and Ballistics, Vol. 3, pp. 17-24, 1979.
- [8] Jack O'Connor, Complete Book of Rifles and Shotguns, pp. 87-88, 1976.
- [9] Colonel Townsend Whelen, Small Arms Design and Ballistics, Ordnance Department, United States Army, Retired, Vol. 2, pp. 50-59.
- [10] Balleisen, C. E., Principle of Firearms, Vol. 3, pp. 22-28.
- [11] Marchant Smith, C. J. and Haslam, P. R., Small Arms & Cannos, Royal Military

College of Science, Shrivenham, U. K., Vol.
2, pp. 19-29, 1982.

- [12] Marchant Smith, C. J. and Haslam, P. R.,
Small Arms & Cannos, Royal Military
College of Science, Shrivenham, U. K., Vol.
3, pp. 46-50, 1982.

- [13] 自由世界武器裝備專輯，聯勤總司令部，
Vol. 2，pp. 47，1982.