

## 火箭筒操作介面人因工程設計之研究

張鵬祥<sup>1\*</sup> 郭承亮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>陸軍軍官學校管理科學系

<sup>2</sup>中華科技大學工業工程與管理學系

### 摘 要

本研究運用人因工程方法從目標顧客需求角度，結合人體計測、專家訪談與問卷調查結果，完成火箭筒人因操作介面設計，並透過主觀人因工程實驗評比來瞭解受測者對火箭筒武器各部位操控性、舒適性、便利性之差異，同時運用客觀人因工程實驗評比來瞭解火箭筒(彈)操作者之肌肉活動度、肢體操作角度量測、穩定性等人因設計參數，以獲得適合國人使用之設計介面，本研究結果可作為國內未來發展反裝甲火箭筒人因操作介面設計參考。

**關鍵詞：**人因工程，火箭筒，人體計測

## Design on Rocket Launcher Operation Interface of Human Factors Engineering

Peng-Hsiang Chang <sup>1\*</sup> and Cheng-Liang Kuo <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Management Sciences Department, Chinese Military Academy

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering and Management, China University of Science and Technology

### ABSTRACT

This study applies the procedures of human factors engineering that combines anthropometry, specialists' interviews and questionnaires from customers' demand to accomplish the design of human factor operating interface on rocket launchers. In the cause of realizing the subjects' different opinions of its operation, comfortableness and convenience, the subjective comparison based on engineering experiments is adopted. In the meanwhile, applying objective comparison of the design matrix in subjects' muscle sensitivity, operated angle measuring, and stability is also used to acquire the suitable design interface. The results can be the consultation of anti-armored weapon system in the future.

**Keywords:** human factors engineering, rocket launcher, anthropometry

## 一、前言

國造軍品與裝備研發計畫中，於產品概念發展階段，除執行戰術需求觀點調查之外，另須適配國人使用之人因工程設計，以確保產品研發之成果確能符合顧客之未來需求。基於此，以顧客需求為導向之人因工程的研究就顯得格外的重要。火箭筒具多用途，重量輕，只需單兵操作即可造成強大殺傷力。具有能摧毀碉堡、山洞、戰車及建築等之特性，並可搭配不同的彈頭多用途使用。然而於其上肢介面探討與分析仍須持續研究，以提高操作者之安全與舒適性。因此本研究將國內外相關文獻分為輕型火箭筒類型及單兵操作武器系統人因介面等兩個方向進行探討。

### 1.1 輕型火箭筒類型

火箭筒武器系統通常由發射筒和彈頭體兩部分組成，而發射筒本身包括筒身及各操作介面所組成，本研究參考詹式年鑑資料，以重量 10 公斤以下(含彈)、筒徑 100 公厘以下之輕型火箭筒(彈)為研究對象。

在確認輕型火箭筒(彈)研究範圍後，本研究選定五款世界各國各特色之輕型火箭筒為主要研究分析對象，計有德國鐵拳 3 型火箭筒、美國 M72 火箭筒、中國 T69-1 型火箭筒、俄羅斯 Shmel-M 型火箭筒、英國 LAW80 火箭筒等，並將火箭筒操作介面設計區分為主支撐點持用方式、次支撐點持用方式、肩部及背部依托方式、擊發方式、操作介面與發射筒之關係等五部分進行探討。

各式火箭筒操作介面設計組合方式說明如圖 1 及表 1 所示。

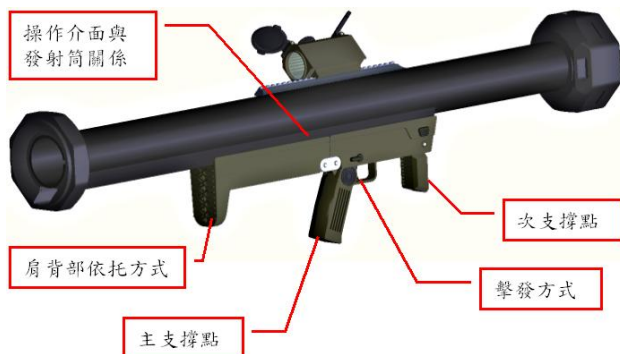


圖 1. 火箭筒操作介面設計型態示意圖

表 1. 火箭筒操作介面設計型態組合

操作介面與發射筒之關係	主支撐點(扳機)持用方式	次支撐點持用方式	肩、背部依托方式	擊發方式
I. 整體式	A. 握把	a. 握把	1. 抵肩	(1) 扣發
II. 分離式	B. 筒狀扶握	b. 筒狀扶握	2. 托肩	(2) 壓發
		c. 反手抓握	3. 靠背	
		d. 護木		
		e. 兩腳架		

### 1.2 單兵操作武器系統人因介面探討

#### 1.2.1 射擊姿勢

射擊是一項精準度要求極高的項目，要求運動員具有良好的舉槍穩定性、協調性、持久性及平衡能力，必須做到人槍一體，身心協調，技術動作一致，才能保證射出高環數[1,2]。能掌握持槍姿勢穩固、瞄準精確、擊發正確之基本射擊技術，在性能良好的槍彈等條件配合之下，相對地能獲得較優異的成績[3]。在屬於立姿射擊的項目中，對受試者的協調性、一致性、穩定性和持久性，更是高標準的要求[4]。以不同等級的射擊運動員相比，水準越高，姿勢動作的穩定性越好，穩定性和射擊成績密切相關[5]。

#### 1.2.2 握持方式

手槍最常用的握持方式是使用慣用手及雙手射擊。在射擊的過程中，手槍、握槍的手臂和射手的身體都會因槍的發射而改變其空間位置。槍枝位移量越小，子彈的散佈面也越小，射擊成績也就越好。舉槍穩定性好，則為擊發創造了有利條件[6]。李齊茹、石玉琴[7]以紅外光點攝像系統，對中國大陸四名優秀手槍慢射選手，從舉槍、瞄準、擊發及恢復、保持和收槍五個階段的射擊動作過程，來分析射擊動作技術及槍枝晃動的情形。結果發現：射擊選手保持持槍臂在肩關節處側平舉狀態，協調配合的難度加大，需要不斷調整力量的大小和方向，因而產生上臂的抖動。因此，減小槍枝的左右晃動是提高射擊精度的關鍵環節之一。

#### 1.2.3 射擊績效

於探討射擊績效之相關研究中，針對不同之研究目的而有不同研究之方法。通常在優秀

射手技術研究或訓練研究中，以射手本身心理、生理致動等為研究重點。如王惠民、劉淑慧[8]利用「自我談話」心理激勵技術，研究促進優秀射手賽前技術提升之效果。Bird[9]、王惠民、劉淑慧[10]等以 EMG 肌電儀 (Electromyography's)、EEG 腦波儀 (Electroencephalograph)、及問卷等，調查射手賽前心理生理致動對成績表現之影響。

除射手技術及訓練研究外，近來則多針對提升人槍系統績效，進行生物力學領域方面之研究，如王進、馬進才[11]以上肢段操作姿勢評估對射擊績效之影響，Iskra et al.[12]、盧德民等[13,14]、陳偉等[15]以動作分析系統及測力板等檢測人槍系統合重心及瞄準點之晃動量，以為評估射手瞄準穩定性之準據。生物力學研究方法中，除人員特性差異得以調查外，另亦可針對人槍系統適配性進行調查[16]。

#### 1.2.4 射擊準確度

槍的晃動是關係到成績好壞的最直接因素，而身體重心的晃動和扣板機的動作又直接作用於槍枝[17]。盧德明等[13,14]與 Zatsiorsky and Aktov[18]等之研究以瞄準點及人槍系統幾何重心之晃動，評估射手瞄準穩定性或人槍系統之穩定性，其研究結果顯示，素質較高射手，其瞄準點及人槍系統重心之晃動量小，則瞄準穩定性越佳，所得之射擊成績也越高。手槍瞄準技術可由瞄準的穩定性、槍口晃動的快慢(頻率)、瞄扣配合三個指標來評價[19]。徐照麟[20]探討人員於操作步槍射擊時與槍枝間之關係介面，再依據所得結果規劃設計一射擊實驗，以研究各項動作及施力與實際射擊績效的關聯性。

#### 1.2.5 人槍介面尺寸之設計

步槍操作長度係指槍托抵肩處至扳機間的距離，其設計將影響操作適配性及穩定控制性等，根據 Tillman[21]建議可縮減至 30cm 以下，馬式曾[22]實際量測數種槍型之操作長度後，建議操作長度之設計應在 32~35cm 之範圍間。一般步槍設計使左手環握下護木部分、由右手握持握把部分。於腕部工作姿勢的考量上，許多研究都指出應保持腕部自然姿勢 (natural wrist posture) 為宜[23]。Saran[24]、Drury[25] 等建議握把之角度應與工具施力軸

呈 60 度設計；但馬式曾[22]與姜守芳[26]等人卻建議適合握持之角度應接近垂直之 70-90 度間。Drury[25]強調正確之腕部工作姿勢，應保持在 5 度撓偏與 10 度尺偏間，如握把設計不當，將造成操作者為避免腕部過度撓偏之不適，而形成“虛握”情形。就人因工程設計觀點而言，Stiffler and Wiley[27]試圖以舒適性，調整便利性，及穩定性等三個向度建立所謂之“適配方程式” (fit equation) 如：「適配性 = 舒適性 + 調整便利性 + 穩定性」，本研究將此“適配方程式”運用於火箭筒(彈)之操作與適配性評估。

上述文獻中雖然已有學者研究手槍、步槍基本射擊姿勢、握持方式、射擊績效、射擊準確度及人槍介面尺寸之設計等五個方向進行分析探討，但針對火箭筒(彈)目前尚未有人因工程相關文獻進行分析及探討，有鑑於火箭筒為國軍重要步兵武器之一，因此本研究運用人因工程方法，透過人體計測量測操作人員人體參數數據，並從目標顧客需求角度出發，結合專家訪談、問卷調查、主、客觀人因工程實驗評比等多向度研究方法。探討主支撐點需求、次支撐點需求與折疊考量、肩背部依托需求與折疊考量、擊發方式、夜視鏡、提把需求等人因工程相關問題，作為國內發展反裝甲火箭筒(彈)之設計參考。

## 二、研究方法

影響火箭筒操作績效之因素可概略區分操作者及火箭筒設計等兩部分。因此本研究整合人體計測、專家訪談、專家問卷、主、客觀人因工程實驗評比等研究方法，瞭解火箭筒使用者操作相關尺寸(人體尺寸、肌力值)及操作需求，並進行人因操作介面設計與驗證。茲將本研究方法說明如次：

### 2.1 人體計測

火箭筒未來主要使用對象為步兵反裝甲單位成員，為使本研究成果可作為後續設計參考，並符合目標顧客操作適配性需求，本研究人體計測對象以符合乙種體位人員 30 員，性別均為男性，平均年齡 38 歲，執行操作性人體測計資料之量測與分析。

人體計測之項目：選用與操作火箭筒時，

操作性及人因工程改善上有關的量測項目，計有手掌長、手掌寬、肩寬、臂長、前臂長、握徑、握力、臂肌力、綜合肌力等九項，做為火箭筒設計之參考，如圖 2-9 所示。



量測儀器：包括皮尺、握徑量測筒、握力計、肌力量測儀等儀器。

量測指標分析：分析影響火箭筒操作者之操作相關尺寸（人體計測值）間之關聯性。

## 2.2 專家訪談與問卷

本研究從目標顧客的角度出發，採取定性研究中之專家意見法針對專家訪談進行聚焦，並根據訪談聚焦結果設計問卷，隨後以匿名方式利用問卷測知專家意見。

專家訪談對象：本研究專家訪談對象包括兵監專業教官及火箭筒射擊訓練單位教官共

計 5 員，性別均為男性，平均年齡 38.7 歲，服役年資 10~22 年。所有訪談對象均實際操作射擊過國造一式六六火箭彈、AT-4 反裝甲火箭、APILAS 反裝甲火箭、標槍飛彈等武器系統，並對反裝甲武器系統之操作、保養、維修、戰術運用等特性均相當嫻熟。

專家問卷對象：本研究專家問卷調查之受測對象為實際從事火箭筒射擊教學及訓練之專業教官。有效問卷共 10 份，性別均為男性，平均年齡 35.6 歲，服役年資為 5~20 年，專長領域均為反裝甲武器系統。

專家訪談項目：包括火箭筒武器系統作戰任務需求、系統操作型態、系統適配性、系統攜行需求與其他意見等項目實施訪談聚焦。

專家問卷項目：包括對未來火箭筒作戰與運用需求、系統之操作型態、系統之適配性、攜行要求等項目設計問卷，以了解兵監單位專業教官之主觀操作感受及用兵之需求。

綜合性評估：將專家訪談及問卷調查分析結果，進行綜合性評估，並完成系統人因工程操作介面三維模型設計。

## 2.3 人因工程實證實驗

本研究人因工程實證實驗對象以國軍某單位現役成員 10 員為主，性別均為男性，平均年齡 29.4 歲，執行操作性人體計測資料之量測與分析，實證實驗與人體計測對象未重複。

本研究運用人因工程實證實驗，透過主觀評比來瞭解受測者對火箭筒(彈)各部位操控性、舒適性、便利性，並透過客觀評比來瞭解火箭筒(彈)操作者之肌肉活動度、肢體操作角度量測、穩定性(足部重心變化)等人因設計參數。

操作感受主觀評比：本研究針對肩托位置配置、護木之需求與折疊、握把位置與結合操作需求考量、握把與扳機位置、整體平衡等問題進行主觀操作評比評估，其舒適性與便利性由 1 分至 5 分別予以評估。

客觀評比：針對火箭筒(彈)操作者之射擊瞄準過程之肌肉活動度、肢體操作角度量測、穩定性(足部重心變化)等客觀績效，運用多功能生理量測儀、壓力擷取分析系統、肢體角度量測儀及實施量測，如圖 10~11 所示。

客觀績效量測儀器：「功能生理量測儀」



多可量測及紀錄分析肌電負荷圖，簡稱肌電圖 (Electromyography; EMG)。「壓力擷取分析系統」可利用感應器分析受測者的足壓分佈，用於平衡分析、重心分析。「肢體角度量測儀」可利用儀器收集操作火箭筒機構時，手肘和手腕角度變化，以尋求一個較佳的操作姿勢。



圖 10. 手腕及手肘角度量測示意圖



圖 11. 右臂二頭肌及左臂肱撓肌量測示意圖

### 2.2.3 實驗程序

人因工程實證實驗操作感受主觀評比與客觀評比實驗程序如次：

- (1)受試者執行操作實驗前，先由實驗者講解實驗程序，依序執行實驗步驟。
- (2)所有受試者先進行客觀評比實驗量測。
- (3)受試者依序黏貼 EMG 表面電極片，量測二頭肌、肱撓肌、斜方肌之最大 EMG 值。
- (4)受試者站上壓力板，記錄站姿足部壓力。
- (5)受試者右手握持主支撐點，左手握持次支撐點護木，並採站姿之姿勢瞄準五公尺處的靶紙，受試者瞄準目標後回覆射擊，紀錄人員開始記錄各項數據。
- (6)左手改握持次支撐點握把，重複進行實驗步驟(5)。
- (7)採高跪姿勢重複流程(5)~(6)實驗步驟。
- (8)受試者在結束客觀績效實驗後，依序填寫主觀評比問卷。

## 三、結果與討論

### 3.1 人體計測

人體尺寸量測主要是針對手掌及手臂等

六個部位做量測，各尺寸平均值及標準差如表 2 所示。表 3 呈現人體計測六項指標之相關分析，由此表可以得知掌長與掌寬具有高度相關(相關係數 0.83)，握徑與掌長具有高相關(相關係數 0.67)，前臂長與臂長具有高相關(相關係數 0.65)，握徑與掌寬具有高相關(相關係數 0.61)。(註：相關係數 0.8 以上為高度相關，0.6 以上為高相關)

表 2. 人體尺寸量測資料分析 (單位:cm)

	掌寬	掌長	臂長	前臂長	握徑	肩寬
平均值	10.4	18.7	75.9	45.5	11.2	49.7
標準差	0.9	0.70	3.2	2.1	1.1	3.7

表 3. 人體計測相關係數分析 (單位:cm)

	掌寬	掌長	臂長	前臂長	握徑	肩寬
掌寬	1.00	<b>0.83</b>	0.49	0.56	<b>0.61</b>	0.12
掌長		1.00	0.43	0.42	<b>0.67</b>	0.13
臂長			1.00	<b>0.65</b>	0.33	0.33
前臂長				1.00	0.28	0.35
握徑					1.00	0.08
肩寬						1.00

人體肌力計測主要針對手掌、前臂、上臂及後臂肌等肌群所牽動的握力與臂肌力之量測，由表 4 可得知量測結果之平均值及標準差。

表 4. 肌力量測資料資料分析(單位:Kg)

	握力	臂肌力	綜合肌力
平均值	33.5	30.7	113.2
標準差	8.2	6.5	18.7

### 3.2 專家訪談

本研究針對作戰任務需求、系統操作型態及系統適配性等進行專家訪談，訪談聚焦結果詳述如次。

#### 3.2.1 作戰任務需求

火箭筒(彈)主要任務為反裝甲，因此作戰任務需求重點為在有效射程內達到貫穿裝甲武器系統的目的。一般口徑 40~100 公厘之火箭筒(彈)，有效射程要求約 200~600 公尺。另外，因考量單兵基本攜行重量約 25~30 公

斤，因此建議全系統(含彈)重量不超過 8 公斤。

### 3.2.2 操作型態

本研究將世界現行火箭筒之操作型態區分為操作介面與發射筒關係、主支撐點、次支撐點、肩背部依托及擊發方式等五個介面進行分類，以瞭解使用者對不同操作型態之需求。

操作介面與發射筒關係：專業教官認為筒內裝彈系統，筒身及操作介面一般採整體式設計，射後即拋棄。若光學瞄準具(夜視鏡)及操作介面若為高單價裝備則亦可採分離式設計(快拆裝置)，射後回收使用。

發射筒與彈頭體關係：使用何種型態之火箭筒(筒內裝式火箭彈、筒外裝式火箭彈)與作戰形勢息息相關。一般守勢作戰多採彈頭體與筒身分離之反覆裝填式設計(筒外裝式)；攻勢作戰則多採射後即丟之筒內裝式火箭彈設計。

主支撐點及擊發方式：主支撐點採握把式扳機扣發設計有助提升射擊穩定性及操控性。

次支撐點：若為筒外裝彈形式火箭筒，因全系統重心在前，增加前握把或護木設計有助提升射擊穩定性及操控性。若為筒內裝彈形式反裝甲火箭筒，因全系統重心在後，次支撐點可以設計護木直接以手掌進行扶握。

肩背部依托：增加抵肩與靠背之人因介面有助提升射擊穩定性。

其他意見：若因增加人因工程相關介面設計造成成本及重量增加而無法相對提升全系統有效射程(精準度、終端效果)，此時需考量增加此人因介面設計的必要性。

### 3.2.3 系統之適配性

火箭筒武器系統之適配性專家訪談意見彙整如表 5 所示。

表 5. 系統之適配性分析

項次	問題內容	受訪者意見彙整
1	是否具有前護木設計需求？	增加前護木設計可使系統握持性及穩定性增加，但發射筒若為射後即丟之設計，增加前護木設計需考量是否會增加成本與攜行重量。
2	是否具有前握把設計需求？	裝彈形式為筒內裝彈，重心位置若在筒後方，一般無前握把使用需求。若重心位於發射筒前方建議設計前握

		把。
3	是否有提把需求？	因火箭筒行進間均以背負方式攜行，因此無提把之需求。
4	瞄準裝具結合考量為何？	若為高單價光學瞄準裝具，建議設計快拆裝置可再回收使用。
5	光學瞄準機構較佳設計高度與位置為何？	現有反裝甲火箭筒瞄準機構射手可依個人需求調整瞄準高度及位置以達最佳明視距離，因此建議能與肩背部依托設計時一併考量。
6	射手臉靠與發射器位置之舒適性為何？	由於反裝甲火箭筒均為單發射擊，射擊過程操作介面與人體接觸時間較為短促，因此對於舒適性的要求較步槍等輕兵器少。
7	擊發方式選擇壓發或扣發以及扳機施力為何？	擊發方式採壓發方式容易造成射擊瞬間因向下施力造成系統不穩定；若結合握把採扳機擊發方式較不會因施力方向造成系統不穩定。

### 3.3 專家問卷

問卷各項目區分為評比及選項兩種類型，評比問題有 0~10 的主觀評比值，0 為極端負面意見、5 為中性意見、10 為極端正面意見。而選項問題中除了依題意選擇最適切的答案之問項之外。優先次序之問項則為依最為優先考量或優先次序來填入主觀之意見，優先次序與評比分數關係如表 6 所示。

表 6. 優先次序與評比分數關係

次序 分數	1	2	3	4	5
評比分數	9	7	5	3	1

本研究根據專家訪談聚焦結果設計問卷，針對作戰任務需求、系統操作型態及系統適配性等專家問卷結果詳述如次。

#### 3.3.1 系統作戰與運用需求

共四題，了解系統有效射程選擇優序、作戰特性選擇優序、對火箭筒(彈)精度要求及火箭筒作戰任務優序等作戰與運用需求重點。

在有效射程選擇優先次序部分，區分四個區間距離進行排序，從表 7 可發現優先次序

考量分別為(1) 250~500 m (2) 500~750m (3) 100~250 m (4)750m 以上。

表 7. 有效射程選擇優先次序評比

項目	射程			
	100~200 m	200~500 m	500~750m	750m 以上
平均值 (標準差)	4.6 (1.83)	8.2 (1.03)	7.2 (1.75)	4 (1.05)
優先次序	3	1	2	4

在反裝甲火箭筒(彈)作戰特性優先次序考量分別為(1)精準度(2)有效射程(3)終端效果(4) 操作舒適性及便利性(5)全系統重(含彈)。

在作戰目標優先順序部分,優先次序考量分別為(1) 裝甲戰車、裝甲人員運輸車、其他裝甲目標(2) 碉堡陣地。多數受訪者認為單人操作肩負式武器系統仍以反裝甲為優先,但對破壞碉堡陣地及城鎮建築之目標亦有需求。

在系統是否需搭配星光夜視鏡以具備夜戰能力部分,有所有受訪者均認為需搭配星光夜視鏡以具備夜戰能力。

### 3.3.2 系統之操作型態

武器系統之操作型態:共三題,將世界現役輕型火箭筒(彈)器系統之操作型態以操作介面與發射筒關係、主支撐點、次支撐點、肩背部依托及擊發方式等五介面進行分類,在戰術及配賦考量下了解兵監單位專業教官建議之操作型態設計組合。

全系統重(含彈) 3~5 公斤且筒內裝彈形式火箭筒,在戰術及配賦考量下專業教官建議之操作型態包括 I-B-b-2-(2)、I-A-a-1-(1)、I-A-a-2-(1)、I-B-b-1-(1) 等四種組合,經彙整分析受訪者建議之操作型態需求如表 8 所示。

表 8. 筒內裝彈形式操作型態分析表

介面與發射筒關係	主支撐點	次支撐點	肩背部依托	擊發方式
I: 整體式	A: 握把 B: 筒狀扶握	a: 握把 b: 筒狀扶握	1.抵肩 2.托肩	(1)扣發 (2)拇指往前壓發

全系統重(含彈) 3~5 公斤且筒外裝彈形式反裝甲火箭筒,在戰術及配賦考量下專業教官建議之操作型態包括 I-A-a-1-(1)、I-A-a-2-(1)、II-A-a-1-(1) 等三種組合,經彙整分析受訪者建議之操作型態需求如表 9 所示。

表 9. 筒外裝彈形式操作型態需求分析表

介面與發射筒關係	主支撐點	次支撐點	肩背部依托	擊發方式
I: 整體式	A: 握把	a: 握把	1.抵肩	(1)扣發
II: 分離式				

受訪者針對現役火箭筒(彈)人因介面建議優先進行改善次序部分,共區分操作介面與發射筒關係、主支撐點、次支撐點、肩背部依托、擊發方式等五個部分進行排序,從表 10 可發現受訪者建議優先改善次序分別為(1) 擊發方式(2) 操作介面與發射筒關係 (3) 主支撐點(4) 次支撐點(5) 肩背部依托。

表 10. 人因操作型態建議優先改善次序評比

項目	型態				
	操作介面與發射筒關係	主支撐點	次支撐點	肩背部依托	擊發方式
平均值 (標準差)	6.8 (1.98)	4.6 (1.83)	2.8 (1.47)	2.4 (2.11)	8.4 (0.96)
優先次序	2	3	4	5	1

### 3.3.3 系統之適配性

武器系統之適配性:共十三題,針對系統之護木設計、提把設計、前握把設計、貼腮設計、肩背部依托方式等設計,是否有益提升射擊穩定及操控性。並探討光學瞄準具需求及結合考量以及何種擊發方式較佳,以了解系統操作人因介面之適配性。

在前握把需求部分,受訪者對握持式設計前握把比護木式設計前握把之需求高。此外,多數受訪者認為前握把以折疊式設計較佳,若要進行便利性之改良,未來可朝這個方向發展。

在貼腮、保護臉部需求部分,受訪者對貼腮設計之需求不高,但對口徑 80mm 以上之火箭筒保護臉部設計之需求較高,如表 11 所示。未來若要進行改良設計,需考量不同口徑

火箭筒(彈)實際砲口壓及砲口焰之狀況。

表 11. 貼腮、保護臉部需求型態分析

型態 項目	貼腮 設計 需求	保護臉部需求 (口徑 80mm 以上)	保護臉部需求 (口徑 80mm 以下)
平均值 (標準差)	3.2 (3.76)	9.3 (0.82)	5.8 (2.61)

在提把需求部分，多數受訪者認為對火箭筒(彈)系統增加提把設計之需求很低。

在光學瞄準具需求部分，多數受訪者對光學瞄準具之需求高，且大多數受訪者認為高單價光學瞄準裝具及夜視鏡，可採與筒身快拆裝置(分離式)之結合方式。

在擊發方式需求部分，從表 12 可發現受訪者認為對扶握壓發方式之設計需求持平。但對握把扳機扣發方式之設計需求較高，且 90% 受訪者有同意此設計可有效提升射擊穩定及操控性。

表 12. 擊發方式需求型態分析

型態 項目	握把扳機扣發 方式	筒狀扶握壓發 方式
平均值 (標準差)	7.9 (2.33)	4.6 (2.71)

在肩背部依托需求部分，從表 13 顯示受訪者需求順序分別為(1) 托肩方式(2) 抵肩方式(3) 靠背方式，而且多數受訪者對靠背設計之需求不高。另外受訪者同意抵肩及托肩設計可有效提升射擊穩定及操控性，且有 70% 受訪者同意有抵肩及托肩設計可有效提升射擊穩定及操控性。

表 13. 肩背部依托需求型態分析

型態 項目	抵肩方式	托肩方式	靠背方式
平均值 (標準差)	4.5 (2.4)	5.8 (1.93)	2.1 (2.23)

### 3.4 人因工程操作介面設計

本研究將運用操作相關人體測計與專家訪談與問卷結果，完成火箭筒人因操作介面三維模型概念設計，如圖 12 所示。另外將主支撐點、次支撐點及肩背部依托快速折疊後可便於攜行及運儲，如圖 13 所示，茲將設計特色

說明如次。



圖 12. 火箭筒操作介面概念設計圖



圖 13. 火箭筒操作介面折疊後折疊後

操作介面設計：筒身及操作介面採整體式設計，射後即拋棄，利於射手快速反應，增加戰士戰場存活率。操作介面與傳統步槍類似，方便射手快速瞄準射擊並提升射擊穩定度。

主支撐點設計：主支撐點採握把型式設計，快速折疊後可便於攜行及裝儲，另外擊發方式採發握把扳機扣發方式，如圖 14 所示。



圖 14. 主支撐點握把設計及折疊示意圖

次支撐點設計：次支撐點採握把型式設計，快速折疊後可轉換提供扶握護木型式，以滿足於不同作戰型態下選用，如圖 15 所示。

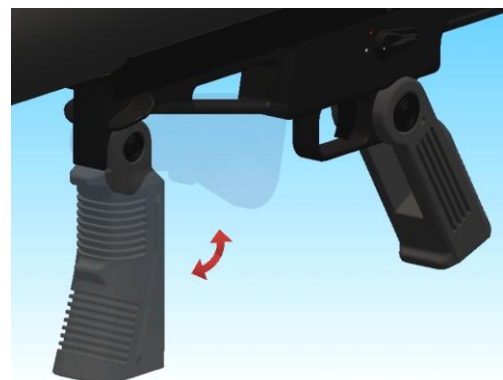


圖 15. 次支撐點採握把設計及折疊示意圖



肩、背部依托設計：因應使用者需求採可折疊式設計，抵肩部可收折作為托肩部使用，加大托肩彈性與面積，因此依托方式可採用抵肩或托肩型式，如圖 16 所示。

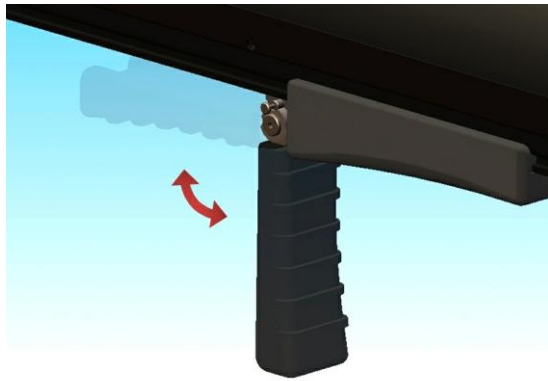


圖 16. 肩、背部依托設計及折疊示意圖

### 3.5 人因工程實證實驗

#### 3.5.1 主觀評比

##### 3.5.1.1 次支撐點(前護木及握把)

本研究次支撐點採折疊設計，可提供握把及護木兩種型式轉換使用。從表 14 得知前護木主觀評比之五項評比項目平均值均高於 3(中間水準)，具有中性偏正面的意見，操作滿意度依序為長度、握面、位置、握徑、形狀。受試者握持護木時雖無負面評價，但五項主觀評比值都未達 4 以上，表示前護木各項介面設計仍然有改進空間。

表 14. 前護木主觀評比平均值(標準差)

	形狀 操作性	位置 操作性	長度 操作性	握徑 操作性	握面 舒適性
評 比 值	3.1 (0.92)	3.2 (0.83)	3.4 (0.88)	3.1 (0.78)	3.3 (0.71)

從表 15 得知前握把主觀評比之五項評比項目平均值均超過 3(中間水準)，具有中性偏正面的意見，其滿意度應依序為長度、角度、形狀、握面、摺疊性。

從表 16 中 T 檢定 P 值可得知不論手持護木、握把的主觀評比值都無顯著差異( $P$  值  $> \alpha = 0.05$ )，表示受試者認為不論握持護木或握

把，並沒有多大的差異性，但前握把主觀評比值(評比值為 3.3~3.6)都優於前護木的主觀評比值(3.1~3.4)。

表 15. 前握把主觀評比平均值(標準差)

	角度 操作性	形狀 操作性	長度 操作性	握面 舒適性	摺疊 性 便利性	護木 及握 把同 時存 在必 要性
評 比 值	3.4 (0.72)	3.3 (0.83)	3.6 (0.88)	3.3 (0.78)	3.3 (0.78)	3.4 (0.91)

表 16. 次支撐點主觀評比及差異性比較

	前護木	前握把	Pr $>  t $
形狀	3.1(0.92)	3.3(0.83)	0.3466
長度	3.4(0.88)	3.6(0.88)	0.4468
握面	3.1(0.71)	3.3(0.78)	0.5943

##### 3.5.1.2 主支撐點(主握把)

由表 17 得知主握把主觀評比之四項評比項目其平均值均超過 3(中間水準)，具有中性偏正面的操作意見，其操作滿意度依序為長度、握面、形狀、角度；其中以長度評比值最高(評比值 3.9)。

表 17. 主握把主觀評比平均值(標準差)

	角度 操作 性	形狀 操作 性	長度 操作 性	握面 舒適 性
評 比 值	3.4 (0.88)	3.7 (0.86)	3.9 (0.78)	3.8 (0.66)

##### 3.5.1.3 肩、背部依托(抵肩、托肩)

本研究肩、背部依托採可折疊式設計，可提供抵肩及托肩兩種型式轉換使用。從表 18 得知托肩主觀評比之五項評比項目平均值均高於 3(中間水準)，具有中性偏正面的意見，操作滿意度依序為依托舒適性、長度、寬度、形狀、位置，其中以依托舒適性評比值最高(評

比值為 3.8)。

表 18. 托肩主觀評比平均值(標準差)

	形狀 操作 性	位置 操作 性	長度 操作 性	寬度 操作 性	依托 舒適 性
評 比 值	3.2 (0.86)	3.1 (0.91)	3.5 (0.82)	3.2 (0.81)	3.8 (0.79)

從表 19 得知抵肩主觀評比之五項評比項目平均值均超過 3(中間水準)，具有中性偏正面的意見，其操作滿意度依序為摺疊性、依托舒適性、長度、形狀、角度；其中以摺疊性評比最高(評比值 3.9)。另外，受試者對於抵肩及托肩同時存在必要性均持正面的意見。

表 19. 抵肩主觀評比平均值(標準差)

	角 度 操 作 性	形 狀 操 作 性	長 度 操 作 性	依 托 舒 適 性	摺 疊 性 便 利 性	抵 肩 及 托 肩 同 時 存 在 必 要 性
評 比 值	3.2 (0.75)	3.4 (0.78)	3.5 (0.85)	3.7 (0.82)	3.9 (0.93)	4.1 (0.86)

### 3.5.1.4 整體操作介面

從表 20 得知在整體操作介面主觀評比之三項評比項目平均值均超過 3(中間水準)，受試者對火箭筒(彈)整體操作介面設計並無負面評價，操作滿意度依序為武器操作性、便利性、舒適性。

表 20. 整體操作介面主觀評比平均值(標準差)

	操 控 性	便 利 性	舒 適 性
整 體 武 器	3.3 (0.71)	3.0 (0.53)	3.0 (0)

### 3.5.2 客觀評比

#### 3.5.2.1 肌肉活動度

本研究運用 EMG 量測儀了解受試者在手持火箭筒(彈)時，右臂二頭肌、右肩斜方肌，左臂肱撓肌之肌電訊號變化。

從表 21 得知立姿、跪姿對右臂二頭肌的

肌肉活動度平均值及標準差，平均值最高的肌肉活動度為跪姿握把對右臂二頭肌(平均值為 52.6)，其次為立姿握把(平均值為 51.6) 跪姿護木(平均值為 51.2)、立姿護木(平均值為 51.1)，且由表 21 得知無論改變姿勢或是次支撐點握持方式，所得到的 P 值都大於顯著水準  $\alpha=0.05$ ，故可得知無論改變姿勢或是次支撐點握持方式，對右臂二頭肌活動度都無顯著差異。

表 21. 持火箭筒姿勢與握持方式對右臂二頭肌活動度平均值及差異性分析

單位：MVC %

平均值 (標準差)		立 姿	跪 姿	Pr > t
二 頭 肌	前 護 木	51.1 (8.2)	51.2 (9.6)	1.0000
	前 握 把	51.6 (8.3)	52.6 (10.3)	0.8513
	Pr > t	0.7808	0.7368	

從表 22 得知立姿、跪姿對右肩斜方肌的肌肉活動度平均值及標準差，平均值最高的肌肉活動度為立姿護木對右肩斜方肌(平均值為 50.8)，其次為跪姿護木(平均值為 46.1) 立姿握把(平均值為 44.2)、跪姿握把(平均值為 43.1)，且由表 22 得知無論改變姿勢或是次支撐點握持方式，所得到的 P 值都大於顯著水準  $\alpha=0.05$ ，故可得知無論改變姿勢或是次支撐點握持方式，對右肩斜方肌活動度都無顯著差異。

表 22. 持火箭筒姿勢與握持方式對右肩斜方肌活動度之平均值及差異性分析

單位 MVC %

平均值 (標準差)		立 姿	跪 姿	Pr > t
斜 方 肌	前 護 木	50.8 (10.5)	46.1 (14.2)	0.4679
	前 握 把	44.2 (14.8)	43.1 (15.0)	0.8610
	Pr > t	0.2759	0.6552	

從表 21、22 得知當右臂二頭肌的活動度越高時，右肩斜方肌活動度會相對變低，例如手持前握把時，右臂二頭肌活動度由立姿的 51.6 變為跪姿的 52.6 時，右肩斜方肌活動度則由立姿的 44.2 變為跪姿的 43.1。推論是因為右臂二頭肌與右肩斜方肌同時支撐火箭筒(彈)重量，故當右臂二頭肌使用較多力量支撐火箭筒(彈)時，右肩斜方肌相對使用的力量就比較低。

從表 23 得知立姿、跪姿對左臂肱撓肌的肌肉活動度平均值及標準差，平均值最高的肌肉活動度為立姿握把對左臂肱撓肌(平均值為 57.2)，其次為立姿護木(平均值為 47.6) 跪姿握把(平均值為 47.0)、跪姿護木(平均值為 32.8)。當固定次支撐點握持方式，持火箭筒姿勢對左臂肱撓肌有顯著差異(P 值小於顯著水準  $\alpha=0.05$ )。且站立姿勢變為高跪姿時，左臂肱撓肌之肌肉活動度都會變低，推論應是重心壓低時，火箭筒(彈)的重心也會移到武器後方，由右臂二頭肌支撐。

當固定持火箭筒姿勢時，次支撐點握持方式對左臂肱撓肌有顯著差異(P 值小於顯著水準  $\alpha=0.05$ )，且改由護木變為握持握把時，左臂肱撓肌之肌肉活動度都會變高，推論左手在握持握把時，會利用到左臂肱撓肌之肌肉力量。

表 23. 持火箭筒姿勢與握持方式對左臂肱撓肌活動度平均值及差異性分析

平均值 (標準差)		立姿	跪姿	Pr > t
肱撓肌	前護木	47.6 (14.0)	32.8 (11.9)	0.0178
	前握把	57.2 (8.6)	47.0 (10.2)	0.0164
	Pr > t	0.0080	0.0163	

從表 24 變異數分析得知不同的持火箭筒姿勢對左臂肱撓肌的活動度會有顯著影響( $p=0.0029 < \alpha=0.01$ )，而不同的握持方式對左臂肱撓肌的活動度亦有顯著影響( $p=0.0039 < \alpha=0.01$ )。

表 24. 持火箭筒姿勢與握持方式對左臂肱撓肌活動度之變異數分析

變異來源	平方和 (SS)	均方 (MS)	P 值
S	0.2549	0.0319	0.0340
A	0.1284	0.1284	0.0039
S*A	0.0418	0.0052	0.7208
B	0.1431	0.1431	0.0029
S*B	0.0762	0.0095	0.4073
A*B	0.0042	0.0042	0.4888

S：受試者間 A：握持方式 B：持筒姿勢

### 3.5.2.2 操作角度量測

從表 25 得知，當固定立姿或跪姿時，次支撐點握持方式對左手肘操作角度會有顯著差異(P 值  $< \alpha=0.05$ )，且由握持護木改為握把時，左手手肘的操作角度都會變大。當手持握把時，改變持火箭筒姿勢對左手肘操作角度亦有顯著差異(P 值  $< \alpha=0.05$ )，且由站立姿勢改變為高跪姿時，操作的角度都會變小。

表 25. 持火箭筒姿勢與握持方式對左手肘操作角度平均值及差異性分析

單位：deg

手肘角度 平均值 (標準差)		立姿	跪姿	Pr > t
左手	前護木	88.5 (15.0)	79.6 (19.8)	0.0608
	前握把	96.6 (13.3)	89.7 (12.3)	0.0003
	Pr > t	0.0179	0.0386	

從表 26 得知無論改變姿勢或是次支撐點次支撐點握持方式，所得到的 P 值都大於顯著水準  $\alpha=0.05$ ，故可得知無論改變姿勢或是次支撐點握持方式，對右手肘操作角度都無顯著差異。

表 26. 持火箭筒姿勢與握持方式對右手肘操作角度平均值及差異性分析

單位：deg

手肘角度 平均值 (標準差)		立姿	跪姿	Pr > t
右手	前護木	106.9 (6.7)	106.7 (10.0)	0.9355
	前握把	105.0 (7.2)	105.8 (10.6)	0.6438
	Pr > t	0.2503	0.3046	

經表 27 變異數分析得知受試者所測量左手肘操作角度的 P 值 $\alpha=0.01$ ，表示受試者之間差異大，次支撐點握持方式及持火箭筒姿勢所測量的 P 值 $\alpha=0.01$ ，表示次支撐點握持方式及持火箭筒姿勢都對左手肘操作角度變化有高度的顯著影響。

表 27. 持火箭筒姿勢與握持方式對左手肘角度之變異數分析

變異來源	平方和 (SS)	均方 (MS)	P 值
S	6375.0222	796.8778	0.0002
A	748.9344	748.9344	0.0024
S*A	558.8556	69.8569	0.2159
B	564.8544	564.8544	0.0053
S*B	336.4956	42.0619	0.4618
A*B	9.0000	9.0000	0.6447

S：受試者間 A：握持方式 B：持筒姿勢

持火箭筒姿勢與握持方式對右手肘操作角度之變異數分析如表 28 所示，從表中得知無論改變姿勢或是握持方式，所得到的 P 值都大於顯著水準 $\alpha=0.05$ ，故可得知無論改變姿勢或是握持方式，對右手肘操作角度都無顯著影響。

表 28. 持火箭筒姿勢與握持方式對右手肘操作角度之變異數分析

變異來源	平方和 (SS)	均方 (MS)	P 值
S	2055.8106	256.9763	<0.0001
A	17.7803	17.7803	0.0695
S*A	77.7872	9.7234	0.1186
B	0.8403	0.8403	0.6610
S*B	302.8172	37.8522	0.0024
A*B	2.4025	2.4025	0.4635

S：受試者間 A：握持方式 B：持筒姿勢

### 3.5.2.3 足部重心變化

由表 29 得知固定持火箭筒姿勢時，次支撐點握持方式對足部重心變化並無顯著差異，而持火箭筒姿勢由立姿變為高跪姿時，前後腳重心差距百分比大約增加了 10%，顯示當持火箭筒姿勢由立姿變為高跪姿時，左右腳重心會有顯著的差異。

表 29. 足部重心變化百分比  
單位：kg/cm<sup>2</sup>

足部重心變化	握持方式	前腳	後腳
立姿	護木	22.22 (4.47) 41%	31.33 (3.59) 59%
	握把	21.00 (3.02) 38%	33.78 (4.44) 62%
高跪姿	護木	17.89 (4.36) 30%	42.44 (8.58) 70%
	握把	19.89 (5.07) 31%	43.44 (7.86) 69%

經表 30 分析得知次支撐點握持方式對前腳重心變化並無明顯的影響( $P>\alpha=0.05$ )，持火箭筒姿勢則對前腳重心變化有顯著影響 ( $P<\alpha=0.05$ )。另外，表 31 分析得知次支撐點握持



方式對後腳重心變化並無明顯的影響 ( $P=0.2821 > \alpha=0.01$ ) 持火箭筒姿勢則對後腳重心變化有高度的顯著影響 ( $P=0.001 < \alpha=0.01$ )。

表 30. 前腳重心變化之變異數分析

變異來源	平方和 (SS)	均方 (MS)	P 值
S	202.5556	21.3125	0.0329
A	1.3612	1.3611	0.6544
S*A	66.3887	8.2986	0.3529
B	66.6944	66.6944	0.0116
S*B	344.0556	43.0069	0.0068
A*B	23.3612	23.3611	0.0903

S：受試者間 A：握持方式 B：持筒姿勢

表 31. 後腳重心變化之變異數分析

變異來源	平方和 (SS)	均方 (MS)	P 值
S	734.0000	91.7500	0.0229
A	26.6944	26.6944	0.2821
S*A	78.5556	9.8194	0.8340
B	971.3611	971.3611	0.0001
S*B	538.8889	67.3611	0.0532
A*B	4.6944	4.6944	0.6416

S：受試者間 A：握持方式 B：持筒姿勢

#### 四、結 論

本研究運用人體計測、專家訪談、問卷調查、主、客觀人因工程實驗評比等多向度研究方法，獲得適合國人使用之反裝甲火箭筒人因操作介面設計參考，其結果可歸納如下：

- (1) 專家訪談及問卷受訪者認為，火箭筒有效射程在 250~500 公尺較佳，且 90% 受訪者認為握把扳機扣發方式之設計可有效提升射擊穩定及操控性。另外，70% 受訪者同意抵肩及托肩設計可有效提升射擊穩定及操控性。
- (2) 受試者針對前護木、前握把、主握把、托

肩、抵肩等各項人因介面的滿意度主觀評比，可作為後續設計各操作介面長度、握面、位置、握徑、形狀、角度、摺疊性、舒適性、寬度的參考。

- (3) 人因工程實驗客觀評比量測顯示，固定持火箭筒姿勢時，次支撐點握持方式對左臂肱撓肌有顯著差異，且改由護木握持變為握把握持時，左臂肱撓肌之肌肉活動度都會變高，此結果可提供主支撐及次支撐點設計參考。
- (4) 本研究建議火箭筒人因操作介面概念設計參考方向包括，筒身及操作介面採整體式；主支撐點採折疊式設計，擊發方式結合握把採用扳機扣發方式設計；次支撐點採折疊設計，可提供握把及護木兩種型式轉換選用；肩、背部依托設計亦採可折疊式設計，可提供抵肩及托肩兩種型式轉換使用。

#### 誌 謝

本文承中山科學研究院系統生產製造中心提供經費補助(計畫編號 YR99192P)，特此誌謝。

#### 參考文獻

- [1] 王義夫，“體會手槍射擊中的呼吸”，中國射擊射擊，第 101 期，第 42-43 頁，2004。
- [2] 張秋萍，“對王義夫雅典奧運會賽前準備的剖析”，中國射擊射擊，第 101 期，第 30-32 頁，2004。
- [3] 何明芳，“射擊業餘訓練選材探討”，體育科技，第 20 卷，第 1 期，第 14-15 頁，1999。
- [4] 于秋萍，“氣步槍訓練在步槍業餘訓練中的地位及作用”，體育科技，第 20 卷，第 1 期，第 62-63 頁，1999。
- [5] 張振民、郭丹華、黃曉丁、朱莉莉、王建英，“高水平射擊運動員想像射擊期間大腦喚醒水平和心率的研究”，中國體育科學學會學報，第 13 卷，第 55 期，第 86-89 頁，1993。
- [6] 華建昇，“步槍射擊擊發動作探析”，中國射擊射擊，第 102 期，第 20-21 頁 2005。
- [7] 李齊茹、石玉琴，“我國高水平手槍慢射

- 運動員瞄準技術的生物力學研究”，成都體育學院學報，第 22 卷，第 3 期，第 51-57 頁，1996。
- [8] 王惠民、劉淑慧，“促進高級射手積極自我談話的案例研究”，中國體育科學學會學報，第 14 卷，第 2 期，第 89-93 頁，1993B。
- [9] Bird, E. I., “Psycho physiological processes during rifle shooting,” *International Journal of Sport Psychology*, Vol. 18, pp. 9-18, 1987.
- [10] 王惠民、劉淑慧，“借助 EMG 值對優秀女子手槍運動員實施表象技能基礎訓練的初步研究”，中國體育科學學會學報，第 13 卷，第 1 期，第 81-88 頁，1993A。
- [11] 王進、馬進才，“多向飛碟射擊的右上臂外展角度與持槍姿勢關係的研究”，中國體育科學學會學報，第 12 卷，第 1 期，第 71-74 頁，1992。
- [12] Iskra, L., Gajewski, J., and Wit, A., “Spectral analysis of shooter-gun system,” Amsterdam Free University Press, Netherlands, pp. 913-919, 1988.
- [13] 盧德民、陳偉、黃宗成、朱嘉新，“女子運動手槍速射技術的研究”，中國國家體委體育科學研究所學報，2 卷，2 期，第 60-68 頁，1989。
- [14] 盧德民、陳偉、黃宗成，“步槍立姿的穩定性研究”，中國國家體委體育科學研究所學報，第 1 卷，第 1 期，第 15-50 頁，1988。
- [15] 陳偉、盧德民、黃宗成，“中國優秀手槍速射運動員的技術研究”，中國體育科學學會學報，第 12 卷，第 5 期，第 75-79 頁，1992。
- [16] 袁正綱，步槍設計對射擊績效之影響，國立台灣工業技術學院博士論文，台北，1996。
- [17] 李正華，“GTK-1 型射擊運動穩定性訓練儀的配置與軟體設計思想”，貴州體育科技，第總 33 期，第 61-64 頁，1993。
- [18] Zatsiorsky, V. M. and Aktov, A. V., “Biomechanics of highly precise movements: The aiming process in air rifle shooting,” *J. Biomechanics*, Vol. 23, No. 1, pp. 35-41, 1990.
- [19] 毛松華、王紅麗，“我國優秀女子手槍運動員瞄準技術分析”，中國射擊射箭，第總 97 期，第 14-16 頁，2004。
- [20] 徐照麟，人因介面與步槍射擊精準度之研究—以臥姿射擊為例，國防大學理工學院動力及系統工程學系兵器系統工程研究所碩士論文，桃園，2010。
- [21] Tillman, A. C., “New P90 round puts FN on road to the next NATO standard, Test Report,” *International Defense Review* 8, pp. 637-638, 1993.
- [22] 馬式曾，“現代步槍設計要求中國輕兵器精華本：目前形勢看中國輕兵器”，中國兵工學會輕武器學會，第 77-80 頁，1994。
- [23] Drury, C. G. and Pizatella, T., “Hand placement in manual materials handling,” *Human Factors*, Vol. 25, No. 5, pp. 551-562, 1983.
- [24] Saran, C., “Biomechanical evaluation of T-handles for a pronation supination task,” *Journal of Occupational Medicine*, Vol. 15, pp. 712-716, 1973.
- [25] Drury, C. G., Begbie, K., Ulate, C., and Deeb, J.M., “Experiments on wrist deviation in manual materials handling,” *Ergonomics*, Vol.28, No. 3, pp. 577-589, 1985.
- [26] 姜守芳，對新研製步槍的幾點希望，中國輕兵器精華本：發展我國輕兵器之我見，中國兵工學會輕武器學會，第 18~20 頁，1992。
- [27] Stiffler, J. A. and Wiley, L., “I-NIGHTS and Beyond,” *Processdings of the SPIE-The Society for Optical Engineering*, pp.13-20, 1992.