

## 高速彈頭撞擊不同組織織物能量損耗之探討

陳幼良<sup>1</sup> 朱政崑<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>國防大學理工學院動力及系統工程系

<sup>2</sup>國防大學理工學院國防科學研究所

### 摘 要

本論文針對目前所使用的防彈背心材料，依據NIJ 0101.04方法，以9 mm不同材質彈頭，以相同初速及不同角度撞擊防彈背心材料後，量測防彈背心後方油泥凹陷度，研究相同質量、不同組織的纖維材料針對不同彈頭的衝擊時之抗彈行為。實驗結果顯示，對於梭織布而言，新一代Twaron CT 709與Kevlar style 802因為纖維直徑小，單根纖維束纖維根數多，因此抗衝擊優於一般常用之梭織防彈布。UD直向布在彈頭小角度衝擊時就會使彈頭產生滑移現象，有效降低油泥凹陷度，而梭織布彈頭滑移現象出現在較大衝擊角度且由於織造點的關係，彈頭滑移距離較衝擊UD直向布時為短。梭織布在45<sup>0</sup>衝擊時就發現使彈頭出現跳彈情況，而UD直向布在60<sup>0</sup>衝擊時才使彈頭發生跳彈情形，所以在大角度斜入射的情況，梭織布後方油泥凹陷深度反而相對較小。

**關鍵字：**油泥凹陷度，彈頭滑移，斜入射

## The Study of Energy Consumption of High Speed Bullet Impacting Various Fabric Constructions

Yu-Liang Chen<sup>1</sup> and Cheng-Kun Chu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Power Vehicle and Systems Engineering, Chung Cheng Institute of Technology  
National Defense University

<sup>2</sup>School of Defense Science, Chung-Cheng Institute of Technology, National Defense University

### ABSTRACT

The anti-bullet behavior was studied by using clay-depth measurement. This measurement, following NIJ 0101.04 testing method, revealed the relationship between bullet speed/angle and fabric texture/material. The weaving “Twaron CT 709” and “Kevlar style 802” demonstrated advance bullet-proof property because of their higher fiber density. The UD-structure fabric presented lower clay-depth accompanied with bullet-slipping, under small angle shot test. However, for woven fabrics, short bullet-slipping occurred under high angle shot test. Finally, the bullet rebounding was discovered at angle 45<sup>0</sup> and 60<sup>0</sup> for woven fabrics and UD-structure respectively. The woven fabrics presented lower clay-depth since their bullet-rebounding angle is relatively low.

**Keywords:** clay depth, bullet-slip, oblique impact

---

文稿收件日期 98.1.13; 文稿修正後接受日期 98.5.1; \*通訊作者  
Manuscript received Jan 13, 2009; revised May 1, 2009; \* Corresponding author

## 一、前言

目前社會上除制式子彈外，仍出現非制式之彈頭形狀與材質，而且土製手槍的子彈火藥裝填不如制式手槍精確，所以土製子彈彈道較不穩定，亦有可能貫穿員警與受保護人的防彈背心。近年來由於特勤單位的便衣隨扈和任務需要，市場上出現便衣型防彈背心，它是由軟質的防彈材料做成。這種防彈背心的設計特點是內穿與方便性，即便在背心內攜帶彈匣和所需裝備，在整體外型上也不會很突兀，與一般外穿式防彈背心相較之下，這種便衣型防彈背心最大的好處就是穿起來不會覺得笨重，對於需要低調進行任務的軍警特勤隊員來說是方便的，但是相對的安全性並不如外穿式安全性高。雖然便衣型防彈背心不能和一般的防彈背心的防彈能力相提並論，不過可以提供使用者更多的選擇，所以有少數人員穿著自購輕便型防彈背心，但是卻不知防彈衣的防護等級。因為合格防彈背心是以高強力纖維所製成的布，疊層後製成之防彈背心的防彈能力都需經公正單位檢測通過，安全性值得信賴且穿著柔軟舒適、防彈性能好，深得各界的青睞。但是，並不是所有防彈衣均可以防護所有子彈，針對防彈性能之比較，軟質防彈衣的防彈效能測試時有幾個因素需要考量：包括彈頭的材質、重量、形狀、初速和彈著的角度。影響彈頭穿透能力的元素是多方面的，在測試防彈衣的防穿透能力時，需要就各別因素的影響作綜合考慮，以獲得防彈背心受衝擊的破壞效果。本研究主要探討針對目前市面上所使用不同組織高性能纖維防彈布，在相同重量與厚度規格的考量下，經銅彈、鉛彈、鋼彈與銅包鉛金屬全包衣彈（Full Metal Jacket, FMJ）之彈頭以固定能量不同角度衝擊，測試防彈背心不同組織織物的抗彈能力，分析不同組織吸收衝擊能力。

軟式的防彈背心主要以NIJ 0101.04之標準檢測[1]，依據NIJ0101.04標準規範，以油泥代替人體進行模擬對於子彈衝擊的傷害，因此國際上使用油泥之凹陷深度作為非貫穿性傷害之指標。當子彈射擊到防彈織物面時，每一層織物都會受到很大的應力因而發揮阻擋子彈前進的能力直到其斷裂為止。

大致說來，一件好的防彈衣，可以從三個地方著手：(一) 原料，(二) 織物的編織方式，(三) 防彈布的層數[2]，該論文主要在探討複合不同材料防彈布，改變其層數、順序及排列方式受子彈衝擊穿透後之末速，據以分析各種組合的抗彈能力。在原料部分，由於目前防彈紡織品種類多，它是以高強力纖維製作的，例如克維拉（Kevlar）纖維，其強力是鋼板的5倍，纖維可以承受和分散子彈穿透力與動能、阻擋子彈的能量更是鋼板數倍。防彈背心係由這些高強力纖維梭織的紡織品疊層製成，其高強力纖維種類包括：高強力聚乙烯纖維或高強力聚醯胺纖維，其成型方式包括梭織與連續式纖維單向直向布（Uni- Directional Woven Fabric, UD）型態。

梭織布（Woven Fabric）時防彈背心所使用的織造方法，係使用不同規格的紗線經過梭織機織成防彈布後再疊合至所需要的層數，這些疊層就像緊密的防護網一樣，層數越多層防彈性能越好。然而層數多的防彈衣顯得越笨重。織物的織物組織、經緯紗密度、接結點等因素都會影響抗彈能力；根據纖維抗彈能力，接結點會使子彈衝擊時產生反射應力波，結構件可能同時要承受縱向力、橫向力及剪力等等因素，產生加成作用讓纖維提前斷裂，因此UD疊層就應運產生，單向的設計能滿足抵抗橫向力及剪力的需求，直到現在成為市場上之主流[3]。

UD 織物是當今世界防彈材料中相當重要的材料，因直向纖維抗彈性能最佳，因此將纖維結構直接設計成單向鋪疊成布，單向並行疊合而成的纖維層，以層與層錯開90°後進行模壓，利用膜材夾成片狀之非織物，形成4層或2層單方向纖維層製成織物即成為UD織物，最著名產品為DSM公司出品之Dyneema SB 31與Honeywell公司之Gold Flex。UD織物具有柔軟、彎曲性佳特性，根據纖維防彈原理[3]，該產品有防彈吸收能力佳等優點，而且各單層包含多量高強力纖維，並且纖維之間相互平行，無論在哪一方向都可視為纖維受正面撞擊，因為單一方向纖維層交叉鋪疊之非織物沒有經緯交織點，因此對於子彈衝擊的能量吸收性能較一般梭織物優異，所以目前逐漸取代傳統的梭織布成為軟式防彈背心的主流。

## 二、理 論

防彈材料之抗彈效能須有一套完整且嚴謹的測試規範加以驗證及鑑定，一般廣為各國所採用的評估方法為彈道極限速度(Ballistic Limit Velocity)測試。圖1所示為測試模式，在5公尺遠處目標後方有模擬類似人體的鑑定油泥。當彈頭衝擊防彈材料時，材料受到子彈衝擊後產生極大的衝擊力，當衝擊動能透過防彈材料抵擋將可以阻擋彈頭穿透與減低動能作用於後方人體，這種衝擊力作用於人體所產生的傷害，雖不會呈現出貫穿傷害，但可能造成腹內器官傷害，重者仍可能危及生命。因此在檢測時需考量後方人體所受之能量，許多國家採用的方法是利用仿人體肌肉的油泥或者人體替代膠作成模型，將防彈衣固定在此模型上，在遭到槍擊後彈頭的衝擊動能透過防彈衣傳給油泥使油泥變形(如圖2所示)，以所產生衝擊的凹陷深度，來衡量防彈背心安全性。對於人體可以承受多大凹陷能量，目前是無法界定的，其原因是每個人的身體所可以承受能量不同，其承受能力有很大差異，其次，除了凹陷深度代表能量大小外，凹陷度的寬度和形態都與接受的動能大小有關，這一點與能量擴散有關，本研究以測量凹陷度的方法，換算防彈背心後方的剩餘速度來運算防彈衣的吸收防衝擊動能的能力，用來評價防彈衣的防護效果。根據測試能量的計算法，可以測出防護材料的吸收動能如下式：

$$E_a = \frac{1}{2} m (V_i^2 - V_r^2) \quad (1)$$

此處 $E_a$ 為材料吸收的能量(J)，亦即為彈頭損耗的能量， $m$ 是彈頭質量(g)， $V_i$ 是彈頭出槍口速度(m/s)， $V_r$ 為子彈穿透背心或材料後殘餘速度(m/s)。

根據公式(1)，彈頭的質量和速度決定了衝擊的動能，當彈頭動能大時對穿透有利；彈頭的材料、形狀和著靶時的角度決定了穿透能力。如果彈頭材質硬度高時，在穿過程程中會有破碎情況，如彈頭材質屬於軟質時，著靶後彈頭會變形、變鈍；同樣，彈頭形狀不尖銳時彈頭不容易穿入防彈材料，彈頭形狀太尖時因衝擊材料時容易產生子彈路徑偏移，也影響穿透能力。一般在彈頭時是以正面方向垂直著靶時穿透力強，如果與靶

面產生角度越大時，穿透能力越差。綜合以上，影響彈頭穿透能力的元素是多方面的，因此在測試防彈衣的防穿透能力時，需要作綜合評估。

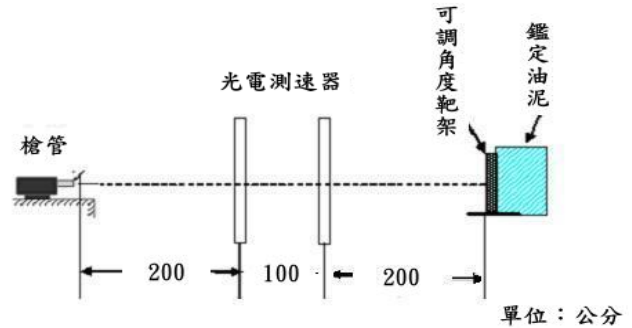


圖1. 測試模式。

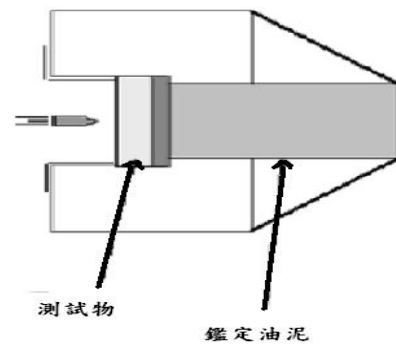


圖2. 測試示意圖。

根據以上之敘述，彈道學的破壞分析估計子彈衝擊材料時間大約為 $10^{-3} \sim 10^{-4}$  s，紡織品抵擋下子彈後其 $V_r$ 可以由德拉瓦大學Dr. Lee[4]研究文獻得到如下：

$$V_r = 38.9 + (3720 \times L) \quad (2)$$

$L$ 是透入油泥黏土的深度(m)，由穿透殘餘速度(2)帶入公式(1)計算出之的材料抵擋之動能，其中 $V_r$ 數據愈小代表紡織品的防護能力愈好。

## 三、實驗測試

本研究主要係針對不同組織高強力纖維防彈布，在相同重量與厚度規格的考量下，用不同種類之銅彈、鉛彈、鋼彈與銅包鉛FMJ彈頭，以相同初速、不同著靶角度測試不同織物組織的消

耗子彈能力，並分析不同組織對於不同角度衝擊的抗彈能力。

防彈布原料重量係根據Lindemulder, J. L.[5]指出疊層後單位面積重量 $3.7 \text{ kg/m}^2$ 之Kevlar織物可以防止450 m/s之子彈衝擊，依比例關係換算杜邦 (DuPont) 產品防彈布k713 (Kevlar 29 平紋織物，經緯密度為每英吋31根) 面積密度，經換算為Kevlar k713疊層需12層，厚度為5mm可以防止330 m/s子彈速度，因此選用相同重量不同組織高強力纖維布檢測，所需的織物層數如表1所示。

本研究所使用武器為H-S Precision 9mm Barrel槍管，槍管長度為20.3 cm (8 inch)，實驗測試用彈為9 mm口徑，彈頭質量8 g，種類分別為純鋼彈、純銅彈、純鉛彈、銅包鉛FMJ彈頭 (圖3)。實驗之防彈布因為需量測後方凹陷度，因此子彈不可以從織物邊緣滑出，因為子彈從織物邊緣滑出，代表防彈布之間出現脫層現象而造成數據錯誤，因此設計如圖5之檢測模組測試與量測凹陷。

以往計算防彈材料抗彈性能是以彈頭速度之改變數值加以判斷，測試方式為將兩組測速器分別置於防彈織物前後位置，穿透防彈材料以後可由後方測速器測得殘餘速度。但是此模式不適合測試防彈背心，因為子彈在射入防彈背心後，

沒有穿透速度，但仍有衝擊能量傳遞人體，因此可以利用背心後方緊貼油泥的凹陷度換算出餘速 $V_r$ ，如果彈頭穿透背心，彈頭仍會被後方油泥抵擋下來，仍可以後方油泥凹陷後算出餘速。



圖3. 測試彈頭。

從世界各國之凹陷度檢測標準來看，德國要求在子彈衝擊背心後在後方的油泥模組只可以容許20 mm的凹陷度；美國標準考慮到多方面因素，因此凹陷度訂為44 mm。所以針對非貫穿性損傷也是防彈衣性能的一個重要考量。

本實驗彈速設定為一般9 mm口徑手槍的射擊速度330 m/s，火藥為中空球藥，火藥質量為0.325 g，衝擊能量為360 J，實驗距離為5 m。測試分析分別以正向與斜向入射角度射擊，斜向入射示意圖如圖4所示[6]，當測試完畢移去防彈布，以垂直方式量測凹陷深度如圖5所示。

表1. 材料規格與層數

材料項目	組織	織物重量 ( $\text{g/m}^2$ )	織物厚度 (mm)	經緯密度 (ends/inch picks/inch)	應使用層數 (層)	選用之層數 (層)
Dyneema SB 31	UD	150	0.13	UD	20.0	20
Gold Flex	UD	232	0.30	UD	12.9	13
Twaron CT 709	平紋	200	0.30	26x26	15.0	15
Kevlar Style 802	平紋	190	0.30	29x29	15.8	16
Kevlar Style 713	平紋	258	0.45	31x31	11.6	12
Kevlar Style 735	2x2方平	464	0.58	35x34	6.5	7
PE 梭織布	平紋	237	0.46	21x21	12.6	13

彈頭會被抵擋下來，後方將無法測得速度，雖然

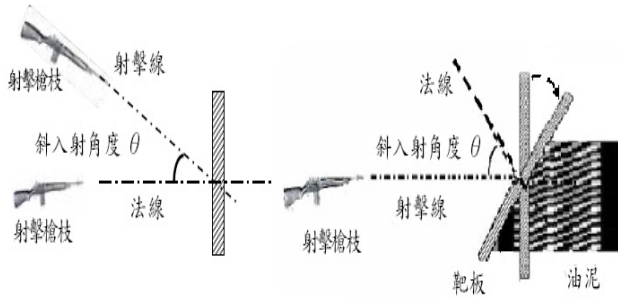


圖4. 正向與斜向測試油泥測試方法。

超過250 m/s時不適用，因此在超出音速時，根據彈頭直接衝擊油泥得到的凹陷深度求得線性關係如下

$$V_r = 695 \times L + 19 \quad (3)$$

式中 $L$ 是油泥黏土的深度(m)，本實驗油泥採用NIJ 標準之ROMA #1標準油泥。由式(3)得到不同凹陷度下實際速度與理論速度之差如表3所示。因此可由式(3)代入公式(1)求得投射體損耗之動能。

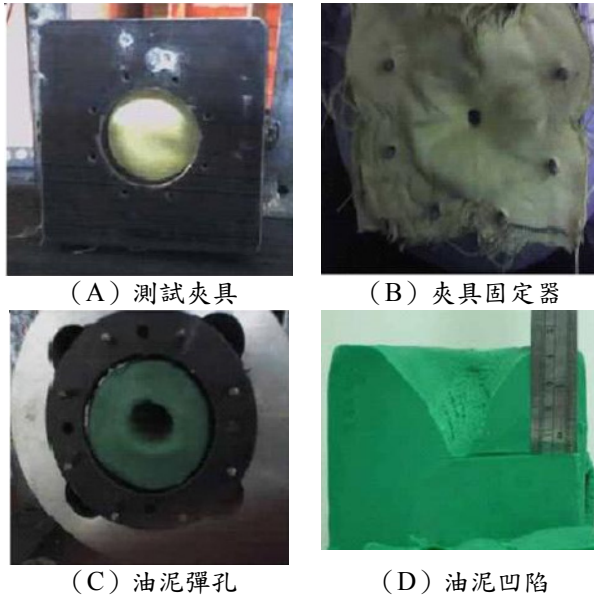


圖5. 測試與量測圖。

表2. 無測試物油泥凹陷度

火藥量 (g)	速度V(m/s)	能量 (J)	油泥凹陷度 (mm)
氣槍	30	4	17
氣槍	50	10	44
0.12	100	40	121
0.16	153	94	240
0.21	200	160	325
0.26	250	250	385
0.33	346	479	434
0.36	362	524	482

## 四、結果與討論

### 4.1 油泥凹陷與速度關係

因需量測油泥凹陷度才能得知殘餘速度，因此首先必須找出彈速、動能與油泥凹陷之間關係式。在未放置待測物時，直接以子彈衝擊油泥，以不同火藥量及不同彈頭射擊油泥時其凹陷度分如表2與圖6所示。不同彈頭以相同速度進入油泥後其凹陷度差異在10 mm之內，其意義為油泥深度與衝擊速度有關，而與彈頭材質無關。當彈頭速度為50 m/s時，油泥凹陷度為44 mm，根據NIJ 凹陷度標準，44 mm以上視為已經傷害人體。

由本實驗得到的數據代入公式(2)，發現在



圖6. 不同彈頭油泥凹陷度。

表3. 凹陷度對應之速度

凹陷度 (mm)	實際速度 V(m/s)	理論速度 V(m/s)
17	30	31
44	50	50
121	100	103
240	153	186
325	200	245
385	250	287
434	346	321
482	362	354

## 4.2 正面衝擊能量損耗

本研究是由重量同為8 g之銅包鉛彈(FMJ)、銅彈、鉛彈、鋼彈依NIJ 0101.04規範以5 m距離、330 m/s速度正向射擊，經每次衝擊後量測凹陷度(表4)代入公式(3)得到剩餘速度 $V_r$ ，將 $V_r$ 與 $V_i$ 帶入(1)可以得到表4之材料所吸收的能量，亦即彈頭損失的能量。

以往根據纖維防彈原理得知UD直向布防衛能力優於梭織布，但由表4可以發現目前比較常使用的梭織布如Twaron CT 709、Kevlar 802產品與UD產品在面積重量相同下，抗彈性能差異性不大，而較以往常用之K713與K735相比，除具輕量化的優點外，防彈效果亦有增加，與UD直向布有競爭的空間，主要原因在於此兩種布種纖維是採用高模數更大的纖維與在彈頭接觸面可增加纖維根數方式，因此原料單根纖維直徑小，在相同面積下纖維根數增加以量取勝，增加纖維根數接觸到子彈之機率，相對有效阻擋子彈衝擊。而且以往織造時，因為纖維直徑大與限制關係，織造的纖維根數密度無法增加，在此方面已有克服，因此阻擋子彈性能增加，產品已經可以與UD產品競爭。

## 4.3 斜入射測試

綜觀所有抗彈材料文獻報告中，正向入射為普遍研究方向，其正向入射彈頭與防彈裝備之破壞機構已有廣泛討論，但是斜向入射研究則幾乎

偏重於固定角度，對高分子材料受到斜向入射後剩餘能量之探討尚屬少見。但是防彈衣防護應該可以防護多個角度，因此選擇以15~60°方向對不同組織材料作斜向入射測試，據以判斷材料吸收能量與跳彈角度。

依據正向入射之模式測試後，改變待測試夾具之角度，以斜向入射測試油泥凹陷度。表5至表8分別為銅包鉛FMJ彈頭、鋼彈頭、銅彈頭、鉛彈頭衝擊各式材料之凹陷度。由測試數據可以發現除在正向入射外，30°時之凹陷度也會呈現升高的趨勢，在30°以後凹陷度則趨緩，角度在60°後所有防彈背心則出現跳彈情形，彈頭將無法貫穿抗彈材料，但是後方油泥仍有凹陷度。依據各表數據得知子彈之消耗能量基本上隨斜向入射角度增加而增加，但在30°~45°時偶見降低，究其原因可能為纖維與纖維之間仍有間隙，而層與層之間仍是軟性結構，在衝擊一瞬間纖維與纖維間出現排開，而層與層之間出現推擠現象，反而使彈頭易於通過，使彈頭消耗能量降低所致。在角度60°時衝擊所有防彈衣均出現跳彈情況，此時，部分衝擊能量轉換為跳彈動能。

## 4.4 不同織物型態防護能力

### 4.4.1 梭織布

依據四種不同彈頭測試結果顯示，鋼彈、銅彈的變形程度不大，但鉛彈與銅包鉛彈則有較大變形而易被織物抵擋下來，可知彈頭材質影響彈頭變形。依據表5~表8之各個彈頭射擊凹陷度換算為彈頭消耗的動能，就織造布織物組織而言，Twaron CT 709與Kevlar style 802為新一代防彈布，與常用之防彈布之Kevlar 713與Kevlar 735比較，K713與K735經緯密度相較Twaron CT 709與Kevlar style 802為大，但消耗彈頭能量卻相對小，明顯為新一代纖維織物在相同重量密度之下有較佳抗彈能力，其原因在於Twaron CT 709與Kevlar style 802纖維規格為細丹尼，在抗彈面的纖維較細、根數較多的織物，梭織布單位面積纖維根數可增加1/3以上，因此受彈衝擊接觸機率增加30%以上，受到子彈撞擊機率高於其他組織，防護能力隨之增加，因此無論正向入射或斜向入射，可以得到一重要結果，即受彈面纖維數量多寡影響抗彈性能優劣。

#### 4.4.2 UD直向布

根據表5-表8顯示，無論是剛性強或軟質彈頭，UD直向布消耗彈頭能力均較高，在軟質彈頭方面，依據圖7 (A) 與圖7 (B) 所示，在 $0^{\circ}$ 方向可以發現彈頭變形型態相同，但是在 $15^{\circ}$ 以後UD直向布彈頭都是斜角變形，而且均在層與層之間產生滑移現象，因此可以判斷在斜向入射UD直向布時，當衝擊UD布的彈頭無法穿越下一層時，彈頭只有以滑移現象前進(圖8)，根據研究顯示，彈頭侵徹靶材時，彈頭將往能量損失較小之方向前進，因此在織物層數越多並在斜向入射角度越大時彈頭滑移距離較長[6]。所以梭織布在 $45^{\circ}$ 以後即出現跳彈現象，以致後方凹陷度會比較小，因為部分能量轉換為跳彈的動能，而UD直向布卻在 $60^{\circ}$ 以後才出現跳彈現象，因此若排除跳彈現象不論，可以判斷在UD直向布的消耗彈頭能量的能力是優於梭織布。

除凹陷深度的量測外，圖9可發現梭織布凹陷面積大於UD直向布，所以若要更精確的判斷纖維布的抗彈能力，應考量受衝擊後的凹陷體積。



(A) UD直向布各角度射擊後之變形彈頭



(B) 梭織布各角度射擊後之變形彈頭

圖7. 不同角度入射防彈布彈頭變形圖。

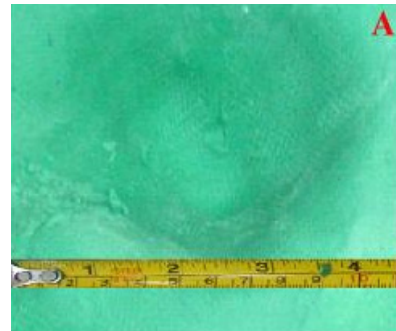


(A) 梭織布

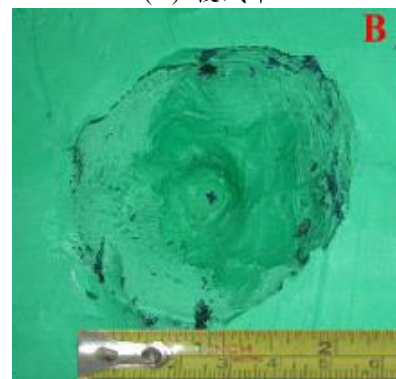


(B) UD 直向布

圖8.  $45^{\circ}$ 斜入射銅包鉛彈頭滑移現象。



(A) 梭織布



(B) UD直向布

圖9. 不同的織品衝擊後油泥影響面積。

## 五、結 論

1. 經彈頭衝擊不同組織防彈背心後，防彈織物後方因衝擊力與震波應力會在後方油泥出現凹陷變形，此效應相當於作用在人體上，因此利用緊貼背心油泥凹陷度可計算出彈頭在貫穿防彈背心與阻擋彈頭過程中的消耗能量，更可據以判斷防彈材料產品性能優劣。
2. 在高速度衝擊下的紡織品防護能力除纖維強度外，也與織物組織、纖維細度與單一束纖維束根數相關，目前新一代織物組織因為單根纖維較細，同面積內纖維根數增加，因此受彈衝擊接觸機率增加，防護能力隨之增加。
3. 就防彈理論，前幾層防彈布主要任務先將彈頭變形，後方纖維吸收並分散彈頭衝擊能量。實驗結果顯示，UD直向布在彈頭斜向入射時易使彈頭產生滑移，由彈頭變形情況來看，彈頭長度並未減少許多，但卻使彈頭產生不平均受力而致歪斜。而織造布因有織造點關係，在彈頭斜向入射時亦能有效使彈頭變形，而滑移現象在衝擊角度比較大時出現滑移距離短。
4. 斜向入射時，凹陷度最大值出現在 $30^{\circ}$ - $45^{\circ}$ 角度， $45^{\circ}$ 以後凹陷度趨於緩和且彈頭變形小，因高於 $45^{\circ}$ 斜向入射時容易有跳彈情況。UD直向布在小角度 $15^{\circ}$ 斜向入射就出現滑移現象，有效降低後方整體凹陷度，而梭織布在 $45^{\circ}$ 以後因織造

布出現跳彈現象，凹陷度降低。

## 參考文獻

- [1] National Law Enforcement and Corrections Technology Center, "Ballistic Resistance of Personal Body Armour NIJ Standard- 0101.04 Revision," Washington DC, USA, p.35, June, 2001.
- [2] 陶育均，邢文灝，李貴琪，"改變抗彈織物組織對抗性能之影響"，華岡紡織期刊，第7卷，第3期，第259-273頁，2000。
- [3] Young, H. H., "Kevlar Aramid Fibre." DE: USA, Chapters 5, pp.138, 1993.
- [4] Lee, Y. S., Wetzel, E. D., Egres, R. G. Jr., Wagne, N. J., "The Ballistic Impact Characteristics of Kevlar Woven Fabrics Impregnated with a Colloidal Shear Thickening Fluid," Journal of Material Science, Vol.38: pp.2825-2833, 2003.
- [5] Lindemulder, J. L., "US patent 6931662," Aug. 23, 2005.
- [6] Chu, C. K., Chen, Y. L., Hseu, G. C., and Hwang, D. G., "The Study of Obliquity on the Ballistic Performance of Basket Fabric Composite Materials," Journal of Composite Materials, Vol. 41, pp.1539-1558, 2007.

表4.  $0^{\circ}$ 衝擊凹陷度與彈頭損耗能量

材料項目	銅包鉛		鋼彈		銅彈		鉛彈	
	凹陷度 (mm)	損失能量 (J)	凹陷度 (mm)	損失能量 (J)	凹陷度 (mm)	損失能量 (J)	凹陷度 (mm)	損失能量 (J)
Dyneema SB 31	14	432.4	48	425.0	27	430.1	15	432.2
Gold Flex	16	432.1	21	431.2	29	429.6	19	431.6
Twaron CT 709	10	433.0	34	428.5	25	430.5	13	432.5
Kevlar Style 802	17	431.9	38	427.6	25	430.5	17	431.9
Kevlar Style 713	191	347.3	214	327.7	208	333.0	171	362.7
Kevlar Style 735	289	250.4	257	285.9	259	283.8	238	305.2
PE 梭織布	315	218.8	350	172.2	358	161.0	312	222.6



表5. 銅包鉛彈頭衝擊凹陷度

材料項目	8 g 銅包鉛FMJ彈頭不同角度衝擊凹陷 (mm)				
	0°	15°	30°	45°	60°
角度	0°	15°	30°	45°	60°
Dyneema SB 31	14	18	18	18	8
Gold Flex	16	13	18	18	10
Twaron CT 709	10	12	16	12	5
Kevlar Style 802	17	20	22	17	6
Kevlar Style 713	191	129	129	120	99
Kevlar Style 735	289	236	248	228	116
PE Weave	315	305	304	229	116

表6. 鋼彈頭衝擊凹陷度

項目	8 g 鋼彈不同角度衝擊凹陷 (mm)				
	0°	15°	30°	45°	60°
角度	0°	15°	30°	45°	60°
Dyneema SB 31	48	31	20	15	13
Gold Flex	21	11	11	5	5
Twaron CT 709	34	19	31	7	3
Kevlar Style 802	38	17	27	9	3
Kevlar Style 713	214	154	156	124	87
Kevlar Style 735	257	287	281	245	124
PE Weave	350	314	320	262	143

表7. 鋼彈衝擊凹陷度

項目	8 g 鋼彈不同角度衝擊凹陷 (mm)				
	0°	15°	30°	45°	60°
角度	0°	15°	30°	45°	60°
Dyneema SB 31	27	28	25	21	19
Gold Flex	29	29	31	17	15
Twaron CT 709	25	34	22	5	4
Kevlar Style 802	25	36	31	19	11
Kevlar Style 713	208	160	177	123	85
Kevlar Style 735	259	271	290	260	141
PE Weave	358	319	310	237	166

表8. 鉛彈衝擊凹陷度

項目	8 g 鉛彈不同角度衝擊凹陷 (mm)				
	0°	15°	30°	45°	60°
Dyneema SB 31	15	19	17	13	5
Gold Flex	19	20	18	10	8
Twaron CT 709	13	17	15	10	2
Kevlar Style 802	17	19	20	15	2
Kevlar Style 713	171	122	120	117	72
Kevlar Style 735	238	232	236	220	109
PE Weave	312	244	250	223	107