模擬彈頭對抗彈織物衝擊能量之分析研究

劉醇糧 邢文灝 李貴琪
中國文化大學紡織工程學系

Received 5 January 1998 ; accepted 10 March 1998

摘要

本研究以儀控落重式衝擊試驗機，模擬子彈穿透防彈衣前幾層抗彈織物後，與後面幾層間的阻抗作用及能量吸收與分散的情形，車削九零手槍彈型衝頭作為本實驗之衝頭，並對各種不同角度的抗彈織物疊層排列去測試，尋找出較合理、較有效果的排列方式，實驗結果顯示，彈形衝頭能有較好的能量成長區域，改變角度排列能有較好的效果，並以兩層為一單位的疊層依不同角度去排列會有較佳的能量吸收，以兩層 90 度正向和兩層 45 度軸向疊層有較佳的能量吸收。

關鍵詞：衝擊試驗、能量吸收、疊層排列

1.前言

近年來台灣治安日益敗壞，黑槍氾濫因此警察在值勤時也將防彈衣如同手槍般列入標準配備，同時警方也越來越重視防彈衣之抗彈能力與柔軟度等，但國內的起步較晚，不如歐美等先進國家早已建立起完整的防彈衣測試標準與等級之區分[1-6]，同時現今之防彈裝備，單以防彈衣物而言[7]，由於受限於對抗彈過程之瞭解，纖維材料本身[8-12]，織物織法以及前後搭配等種種問題之瞭解，因此如何利用纖維之特性搭配適當之織法與排列方法，達到最佳的抗彈能力，爲當前研究之目標與方向[13]。當子彈射擊防彈衣時，前面的幾層抗彈織物會被帶有正向應力和剪切應力的旋轉彈頭破壞，彈頭穿透幾層後，其子彈的能量漸漸的被抗彈織物阻抗而消逝，造成彈頭的變形，藉由織物的能量傳遞，將能量慢慢的吸收，使彈頭能完全被防彈衣阻檔下來，由此子彈射擊過程中，能量的轉移與傳遞，無法確實的了解，本實驗以落重式衝擊試驗機衝擊抗彈織物，模擬子彈穿透前幾層抗彈織物後，與後面層數間的阻抗作用及能量吸收與分散，只討論彈頭的正向衝擊應力，然而其因槍管膛線所造成的旋轉切力，想當複雜，目前無法精準的測得，故本實驗中吾不考慮此重要變數，只針對垂直方向的正向應力爲主。爲了使衝擊更像子彈衝擊，車削九零手槍彈型衝頭，作爲本實驗之衝擊衝頭，本實驗的測試除了模擬能量關係外，並測試以不同角度的抗彈織物疊層排列，與能量的相關性，並尋找出較合理、較有效果的排列方式[14]。

2.理論

2-1 落重式衝擊測試理論[15-22]

當衝頭落下時，試片能量的吸收可由下式表示

$E = \int PVdt$············(1)

P:衝頭撞擊試片時瞬間負荷(instantaneous local)

V：衝頭撞擊試片時瞬間速度(instantaneous velocity)

但對一般能量—時間曲線而言，它是衝量與起始速度之積，所以能量表示爲

$E = V_0\int Pdt$·········(2)

V_0：表衝頭剛接觸試片的速度

因爲起始速度（V_0）與瞬間速度（Vt）不同，因爲此對於求得正確的試片吸收能量是必要的。(1)式可以表示成

$$E = V'\int Pdt \cdots\cdots\cdots(3)$$

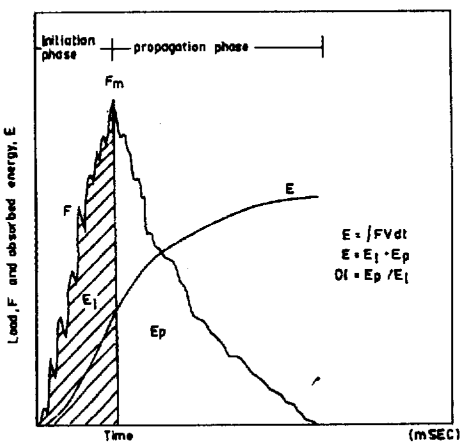
$V'=1/2(V_0+V_f)$

V_f：表時間範圍結束時的衝頭速度

此 E 值會比較趨近於真正的 E 值。

落重式衝擊測試的原理是將實驗荷重－時間曲線圖，予以積分算出試片能吸收的能量和能量－時間關係圖，如圖 1。

總吸收能(Et):$E_t=E_i+E_p$ 開始至完全貫穿所須之能量，對於高強度脆性材料而言，Ei 相當大 Ep 相當小，低強度韌性材料之 E_i 相當小而 E_p 相當大。故可由延性指數(ductility index)來了解材料本性，其定義爲 $DI=E_p/E_i$，DI 值介於 0～∞ 之間，值越大，韌性越高（high toughness）。



F_m：最大荷重

E_i：破壞起始區(region of fracture initiation）

E_p：破壞成長區(region of fracture propagation)

圖 1 能量分析圖

2-2 抗彈織物衝擊破壞理論

當纖維受衝擊時，其動能反應(Dynamicresponse)可概分五個過程，如圖 2[13-15]。

(1) 產生垂直衝頭方向的縱向波(Longitudinal Wave)向外傳遞。

(2) 材料被擠壓，產生了張力應變(tensilestrain)。

(3) 因衝頭速度產生橫向波(Transverse strain)向外傳遞。

(4) 傳遞波的大小即代表張力應變大小。

(5) 全部的吸收能量即是纖維開始產生縱向波後的所有的應變能力。

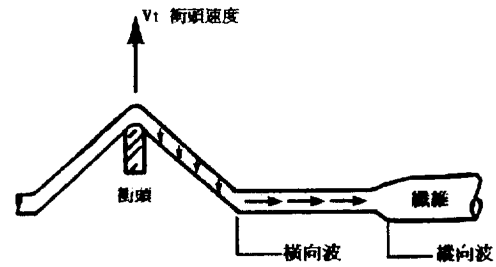


圖 2 單纖受衝擊時能量吸收及破壞行爲

2-3 衝擊實驗摩擦力理論[23]

在衝擊過程中要考慮到很多的摩擦力

(1)子彈和織物間的平面可以忽略。

(2)織物不同層數間的摩擦力亦可忽略。

(3)撞擊時，同平面中第一、二根紗之間的摩擦力，不可忽略，但本研究中不以考量。

3.實驗

3-1 實驗材料

(1)Kevlar 29 梭織物規格：$\dfrac{31\times 31}{1000\times 1000}$

3-2 實驗設備與流程

3-2-1 設備

(1)儀控落重式衝擊試驗機(翰日企業有限公司)

(2)車床

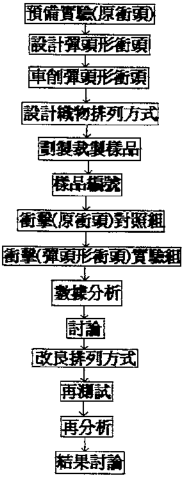
(3)銑床

(4)鑽石切割機

(5)鋼製直尺

(6)量角器

3-2-2 實驗流程



3-3 實驗方法

3-3-1 設計衝頭

依衝擊試驗機（圖 3）之原衝頭的形狀、尺寸，設計出形狀與九零手槍子彈相同之衝頭，如圖 4 中 Type A 表原衝頭，Type B 表彈形衝頭。

更換衝擊試驗機的衝頭，以自製彈形衝頭衝擊抗彈織物，,探討其之影響。

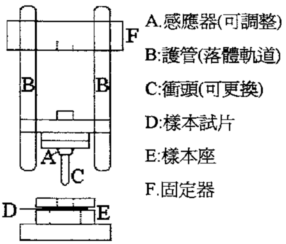


圖 3 落重式衝擊試驗機

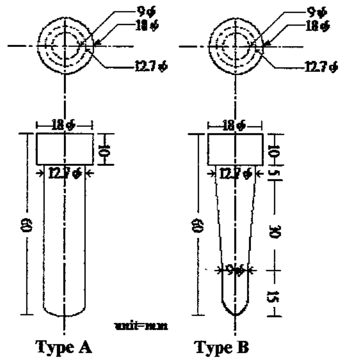


圖 4 衝擊試驗機衝頭

3-3-2 織物疊層排列設計

設計原平織之抗彈織物，以裁片時作角度的改變，分別以 90°（0°）、45°、30°（60°），依樣本傾斜角度的不同而裁剪。

再依傾斜角度的不同去做疊層的設計，隨著角度和層數的不同，可排列多種不同的排列方式，如表 1、表 2 所示。並說明樣本編號所代表之意義，如表 3。

表 1 層數與二種織物角度的配比

層數	比例			
二層	1:1			
三層	1:2	2:1		
四層	1:3	2:2	3:1	
五層	1:4	2:3	3:2	4:1

表 2 層數與三種織物角度的配比

層數	比例					
三層	1:1:1					
四層	1:1:2	1:2:1	2:1:1			
五層	1:1:3	1:2:2	1:3:1	2:1:2	2:2:1	3:1:1

表 3 樣品編號與代表意義

樣品編號	代表意義
99211	前面兩碼代表織物度，9 代表 90 度即一般正向的織物，後面三碼表層數及比例，2 表層數，11 表疊層比例爲 1:1
94312	9 代表 90 度即一般正向的織物，4 代表與前者之軸向呈 45 度的傾斜，3 表層數三層，12 表疊層比例爲 1:2
93413	9 代表 90 度即一般正向的織物，3 代表與前者之軸向呈 30 度的傾斜，4 表層數三層，13 表疊層比例爲 1:3
34514	3 代表與 90 度軸向呈成 30 度之織物，4 代表與前者之軸向呈 45 度的傾斜，5 表層數，14 表疊層比例爲 1:4
121	表 90 度與 45 度及 30 度之織物層數之疊層比例
註：其餘相同以此類推，詳細見附錄 1	

3-3-3 衝擊實驗

(1)更換衝擊試驗機之衝頭
(2)取排列好的各種抗彈織物，依相同層數、不同角度排列。
(3)以落垂式衝擊試驗機衝擊試片
(4)記錄其能量値，並分析其何種排列有最佳的抗衝擊力、何種排列有最佳的能量吸收。

3-4 實驗條件設定

(1)衝擊方式採自由落體
(2)衝頭感應器 20000lb
(3)最大破壞作用力邊界常數値 17792$^{NT}/_{v}$
(4)衝擊高度 0.6M

4.結果與討論

4-1 衝頭改製與衝擊能量之相關性

改變衝頭以得到模擬更像子彈破壞織物時的能量吸收圖，希望達到有較好的成長能區域，如圖 5、圖 6 中其起始能區和成長區域，以 Type B 所衝擊的能量吸收圖形，其成長能區域較原衝頭明顯，就單以相同角度相同層數下，衝頭的不同對於起始能和成長能的影響，如表 4 及表 5 所示。

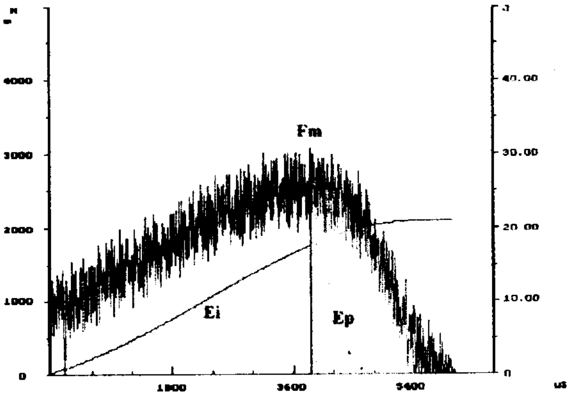


圖 5 Type A 衝頭衝擊抗彈織物時之能量圖

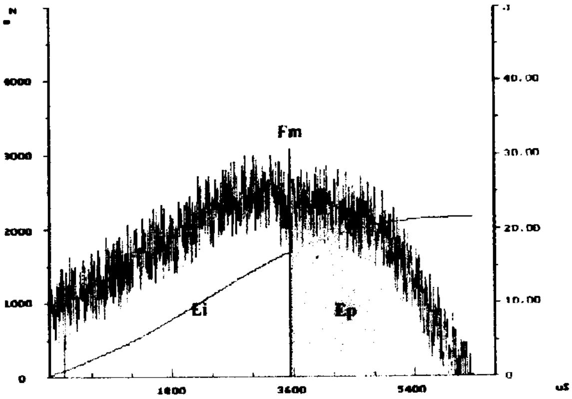


圖 6 Type B 衝頭衝擊抗彈織物時之能量圖

表 4 Type A 衝頭衝擊所得之能量圖面積之比値

織物層數	起始能與總吸收能之比值 (E_i/E_t)	成長能與總吸收能之比值 (E_p/E_t)
一層	0.8668	0.1332
二層	0.8480	0.1520
三層	0.8713	0.1287
四層	0.8643	0.1357
五層	0.8167	0.1833

表 5 Type B 衝頭衝擊所得之能量圖面積之比值

織物層數	起始能與總吸收能之比值 (E_i/E_t)	成長能與總吸收能之比值 (E_p/E_t)
一層	0.7116	0.2884
二層	0.6310	0.3690
三層	0.8315	0.1685
四層	0.6721	0.3219
五層	0.7312	0.2688

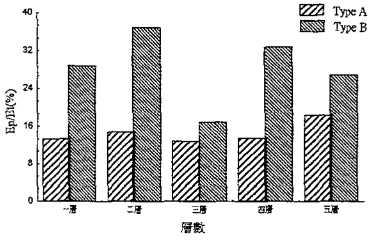


圖 7 衝頭對於能量 Ep/Et 比值之影響

Type B 衝擊所得之成長能區域會較 Type A 大，由圖 7 可知，就此可知道改變衝頭增多了破壞面積，可以使織物對於能量的擴散與吸收有較好的效果，故將使用 Type B 以模擬九零手槍彈頭形狀，作爲實驗之依據，而 Type A 爲原實驗對照組，Type B 爲實驗組。

4-2 衝頭的改製與凹陷深度及形狀之影響

就凹陷深度比較，Type A 與 Type B 之形狀大小除了最尖端之第一衝擊點形狀有不同外其於長度之尺寸爲相同，故最終之衝擊凹陷深度相差不多。

就凹陷形狀比較，由於衝頭之第一衝擊破壞接觸點，與衝頭之形狀有關，Type A 衝擊所得之凹陷形狀爲較平緩，然而 Type B 衝擊所得之凹陷形狀，爲子彈最初撞擊織物之彈形凹陷。因爲此衝擊並未將織物衝破，此時凹陷和總層數剛性直接相關，故只能觀察其織物受衝擊後之最終形狀，可看出凹陷之最中點爲較尖近似彈頭形狀之凹陷，與 Type A 可看出明顯的不同。

因爲織物並未衝破，故其衝擊強度所表示的並非爲織物之破壞強度，在此表示爲織物變形時之凹陷強度，而其中之能量吸收稱之起始能及成長能。

4-3 抗彈織物層數對衝擊能量的影響

此節討論改變織物疊層的層數不同，而討論其對於能量吸收的好壞影響，總吸收之所以數值相差不多，可能是因爲衝擊樣本時，衝擊範圍已經固定大小，所以能量的吸收與所接觸的面積有關，最終的能量吸收應可被視爲定值，就此以同一角度的織物進行討論，依層數不同，分別測得單層、二層、三層、四層、五層衝擊，就以衝擊強度、凹陷深度、起始能、成長能予以討論，如表 6 所示。

表 6 能量圖數值

層數	衝擊強度(N)	凹陷深度(M)	起始能(J)	成長能(J)	總吸收能(J)
一層	3041.0	0.0090	15.20	6.16	21.36
二層	3492.2	0.0090	17.43	3.12	20.55
三層	3874.4	0.0085	17.44	3.54	20.98
四層	3909.6	0.0087	13.51	6.60	20.10
五層	4127.0	0.0084	15.40	5.66	21.06

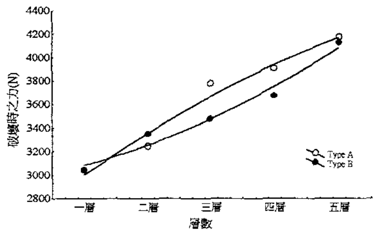


圖 8 抗彈織物層數與衝頭間衝擊強度的相關性

隨著層數的增加，其衝擊強度隨之增加，如圖 8，對於衝頭的抵抗也就愈大，就以推測抗彈織物對子彈的阻抗程度隨著織物的層數的增加，阻止子彈穿透的能力也就愈好，而凹陷深度也隨層數的增加而減少。

衝擊時先破壞最外層，此破壞值和結構剛性有關，織物愈厚，值愈大，而由衝頭的感應器測得之應力值會愈大。但入射能量不足時，衝頭高度或速度不夠時，愈厚則並不會破。

由表 6 可看出其總吸收能相差必不太，而

都趨近於一固定值。就此說明其原因如下：衝擊時，抗彈織物之衝擊抵抗面積，已被限制於一小範圍，而自衝擊開始至結束，所有的能量反應只限於此範圍中傳遞，故在此可將此值視爲趨一定值。

4-4 抗彈織物排列角度對衝擊能量之影響

4-4-1　90 度軸向織物疊層對衝擊能量之影響

依角度 90 度正向之抗彈織物分別疊層，討論其衝擊能量的好壞，其能量數值如表 7 所示。

表 7　90 度軸向疊層之能量數值

樣品編號	衝擊強度(N)	凹陷深度(M)	起始能(J)	成長能(J)	總吸收能(J)
99211	3492.20	0.00906	17.425	3.124	20.549
99312	3874.40	0.00848	17.448	3.536	20.984
99413	3909.60	0.00874	13.510	6.600	20.110
99514	4127.00	0.00840	15.400	5.660	21.060

其衝擊強度隨著層數的增加而增加，而凹陷深度隨之下降，如圖 9 所示，就以討論其起始能與成長能之比較，如圖 10。

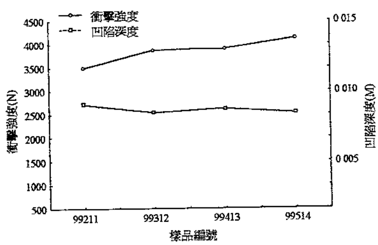


圖 9　90 度軸向疊層織物與衝擊強度及凹陷深度之相關性

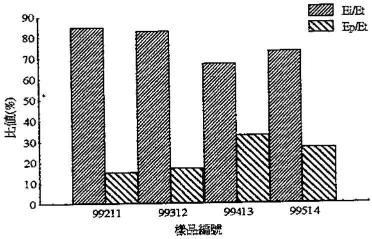


圖 10　90 度軸向疊層織物起始能與成長能之相關性

由圖 10 可得知，當兩層疊層、三層疊層時，起始能區比成長能區較大，即其能量大部分消耗於開始的衝擊，而成長能方面較少，由圖可知，當四層疊層時所得到之成長區域較接近於起始區域，能量被大部分吸收，預期排列效果此種排可排列於後層，可以吸收分散較好的能量。

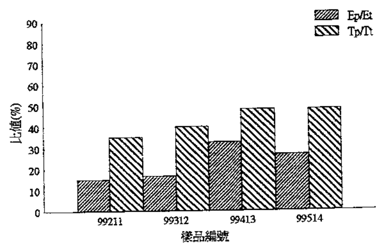


圖 11　90 度軸向疊層織物成長能與成長時間之相關性

而對其成長能所需時間之關係與成長能區域的關係可由圖 11 得之，時間與成長能區域的關係，成長能的區域愈大，所需時間愈長，則可知其排列方式，能在短時間中吸收分散最多的能量，而以四層排列中的效果最佳。

4-4-2　90 度、45 度軸向織物疊層對衝擊能量之影響

依角度 90 度正向與 45 度軸向之抗彈織物分別疊層，討論其衝擊能量的好壞，其能量數值如表 8 所示。

表8　90 度、45 度軸向疊層之能量數值

樣品編號	衝擊強度(N)	凹陷深度(M)	起始能(J)	成長能(J)	總吸收能(J)
94211	3345.00	0.0079	16.050	4.210	20.260
94312	3796.80	0.0071	15.352	4.808	20.160
94321	3605.00	0.0076	16.590	3.510	20.100
94413	3823.00	0.0066	13.760	6.850	20.610
94422	3866.00	0.0069	14.320	7.470	21.790
94431	3823.00	0.0070	15.370	5.950	21.320
94514	4040.00	0.0067	14.170	7.010	21.180
94523	4387.00	0.0060	14.940	6.330	21.270
94532	4040.00	0.0070	15.370	5.310	20.680
94541	4518.00	0.0078	18.750	3.020	21.770

其衝擊強度隨著層數的增加而增加，以 94211 爲例，前面增加一層 90 度變爲 94321，後面增加一層 45 度變爲 94321，其兩者的相關性，以衝擊強度來看，以加在後面 45 度之疊層能夠有較好的衝擊強度，以起始能和成長能來比較，也是以 94312 爲佳，隨著前後層數的增加，衝擊強度也隨之增加，以相同的五層來比較，雖然以 94541 的衝擊強度爲最大，但其起始能與成長能的相關性，以 94514 爲最佳，能有最好的能量吸收。如圖 12、13 所示。

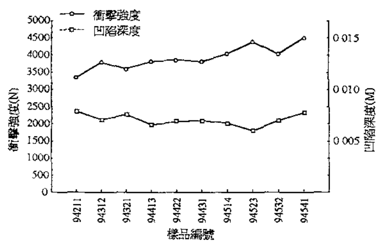


圖 12　90 度、45 度軸向織物疊層與衝擊強度及凹陷深度之相關性

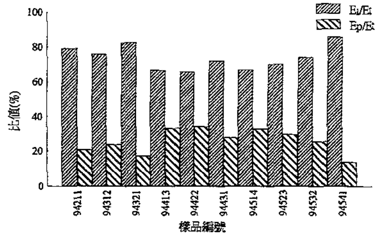


圖 13　90 度、45 度軸向疊層織物起始能與成長能之相關性

而對其成長能所需時間之關係與成長能區域的關係可由圖 14 得之，時間與成長能區域的關係，五層中之 94541 雖然有最大的衝擊強度，但無較好的成長區域，而 94514 有較好的成長區域，可是就與時間來看，其成長所需時間也是最大的，就以討論，此種排列適用於前面，以抵抗子彈衝擊速度，以較長的時間去抵抗子彈的能量。四層中之 94422 衝擊強度並非最大，可是就其時間與成長能之關係，在較短的時間內吸收較大的能量，此對於織物的破壞可能增大，因爲可能會在短時間內將其織物之紗線破壞，造成危險，故此種排列放於後幾層，以分散吸收能量。

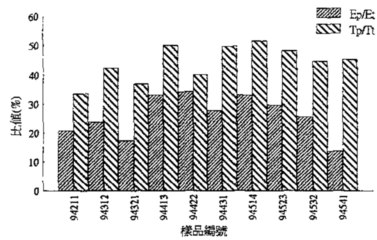


圖 14　90 度、45 度軸向疊層織物成長能與成長時間之相關性

4-4-3　90 度、30 度軸向織物疊層對衝擊能量之影響

依角度 90 度正向與 30 度軸向之抗彈織物分別疊層，討論其衝擊能量的好壞，其能量數值如表 9 所示。

表 9　90 度、30 度軸向疊層之能量數值

樣品編號	衝擊強度(N)	凹陷深度(M)	起始能(J)	成長能(J)	總吸收能(J)
93211	3605.00	0.00755	15.410	5.680	21.090
93312	3692.00	0.00810	17.200	3.030	20.230
93321	3844.00	0.00735	16.010	4.780	20.790
93413	3866.00	0.00720	16.540	3.690	20.230
93422	4061.50	0.00710	16.280	5.110	21.390
93431	3823.00	0.00730	16.080	5.540	21.620
93514	4061.50	0.00710	16.280	5.110	21.390
93523	4344.00	0.00840	19.070	2.710	21.780
93532	4213.00	0.00830	18.830	2.960	21.790
93541	4213.00	0.00830	18.830	2.960	21.790

其衝擊強度隨著層數的增加而增加，以 93211 爲例，前面增加一層 90 度變爲 93321，後面增加一層 30 度變爲 93312，其兩者的相關性，以衝擊強度來看，以加在前面 90 度之疊層能夠有較好的衝擊強度，以起始能和成長能來比較，也是以 94312 爲佳，隨著前後層數的增加，衝擊強度也隨之增加，以相同的五層來比較，雖然以 93523 的衝擊強度爲最大，但其起始能與成長能的相關性，以 93514 爲最佳，能有最好的能量吸收。如圖 15、16 所示。

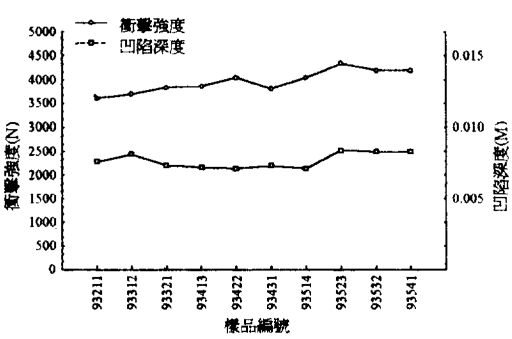


圖 15　90 度、30 度軸向織物疊層與衝擊強度及凹陷深度之相關性

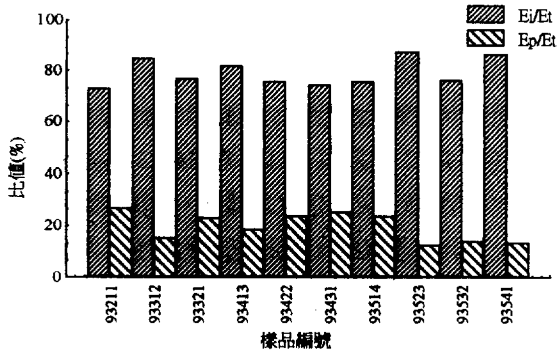


圖 16　90 度、30 度軸向疊層織物起始能與成長能之相關性

以時間的關係來看，93514 仍爲五層中吸收能量最佳的，因爲其的排列時間都很長相對的成長能區域並不大。而最佳能量吸收以四層中之 93422 爲最好，如圖 17 所示。

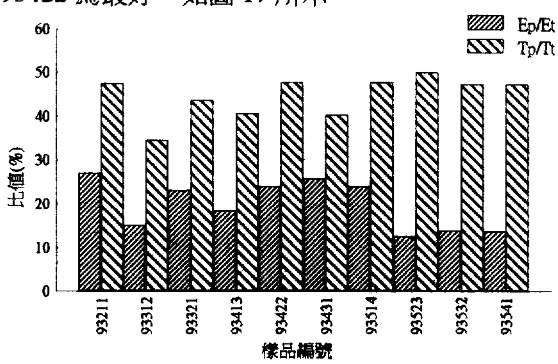


圖 17　90 度、30 度軸向疊層織物成長能與成長時間之相關性

4-4-4　30 度、45 度軸向織物疊層對衝擊能量之影響

依角度 90 度正向與 30 度軸向之抗彈織物分別疊層，討論其衝擊能量的好壞，其能量數值如表 10 所示。

表 10　30 度、45 度軸向疊層之能量數值

樣品編號	衝擊強度(N)	凹陷深度(M)	起始能(J)	成長能(J)	總吸收能(J)
34211	3127.50	0.00865	15.570	4.495	20.065
34312	3540.00	0.00820	16.530	4.740	21.270
34321	3540.00	0.00820	16.530	4.740	21.270
34413	3649.00	0.00950	18.640	3.200	21.840
34422	3953.00	0.00780	17.720	4.010	21.730
34431	3953.00	0.00780	17.720	4.010	21.730
34514	4040.00	0.00670	14.170	7.010	21.180
34523	4040.00	0.00700	15.370	5.310	20.680
34532	4278.50	0.00870	20.935	0.745	21.680
34541	4083.00	0.00830	20.240	1.540	21.780

以衝擊強力討論，有些排列之衝擊強度並未隨著角度的改變而有所改變，而只與層數有關，例 34211 中及其 34312 和 34321 各爲前後各增加一層 45 度或 30 度之織物，但其值卻相同，而也並非完全如此，對於五層的討論，衝擊強度以 34532 爲最大，34514 與 34523 相同，就以討論相同兩者的能量，34514 的成長能較好，故採其爲最佳，如圖 18、19 所示。

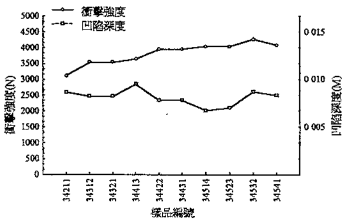


圖 18　30 度、45 度軸向織物疊層與衝擊強度及凹陷深度之相關性

由圖 20 可知，34514 其成長能與所需時間，相對的提高，雖有相當好的能量吸收，但其反應時間過長，而且衝擊強度又並非最大，可能排列中只適合中間夾層。

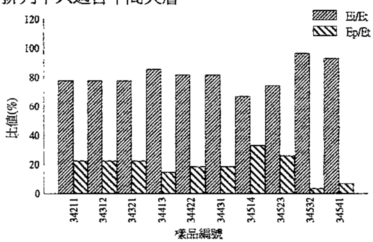


圖 19　30 度、45 度軸向疊層織物起始能與成長能之相關性

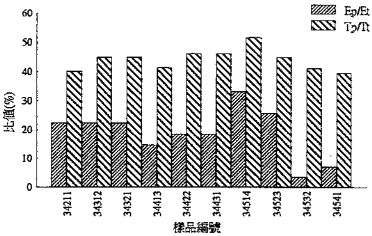


圖 20　30 度、45 度軸向疊層織物成長能成長時間之相關性

4-4-5　90 度、45 度、30 度軸向織物疊層對衝擊能量之影響

依角度 90 度正向與 45 度軸向及 30 度軸向之抗彈織物分別疊層，討論其衝擊能量的好壞，其能量數值如表 11 所示。

表 11　90 度、45 度、30 度軸向疊層之能量數值

樣品編號	衝擊強度(N)	凹陷深度(M)	起始能(J)	成長能(J)	總吸收能(J)
111	3562.00	0.00880	17.250	2.770	20.020
112	3649.00	0.00770	16.530	3.410	19.940
121	3657.60	0.00650	13.486	6.500	19.986
211	3718.40	0.00714	15.360	4.320	19.680
113	3866.20	0.00712	14.592	6.008	20.600
131	4127.00	0.00700	16.200	5.050	21.250
311	3432.00	0.00720	14.750	4.920	19.670
122	4257.00	0.00720	17.325	4.110	21.435
212	3909.00	0.00760	17.250	4.280	21.530
221	4322.00	0.00795	18.940	2.695	21.635

由衝擊強力以 221 疊層方式爲最佳，如圖 21 所示，但成長能與起始能以 113 疊層方式爲最佳，如圖 22 所示，若爲了抵抗子彈可採用 221 疊層方式，而 113 疊層方式則用於後方的能量吸收，不同的用途使用不同的排列方式。

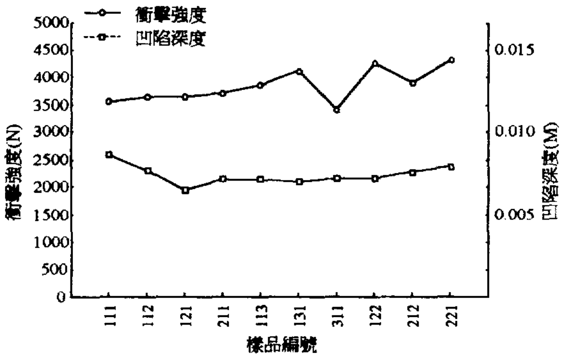


圖 21　90 度、45 度、30 度軸向織物疊層與衝擊強度及凹陷深度之相關性

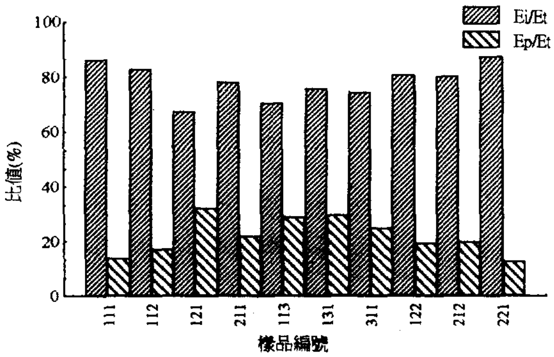


圖 22　90 度、45 度、30 度軸向疊層織物起始能與成長能之相關性

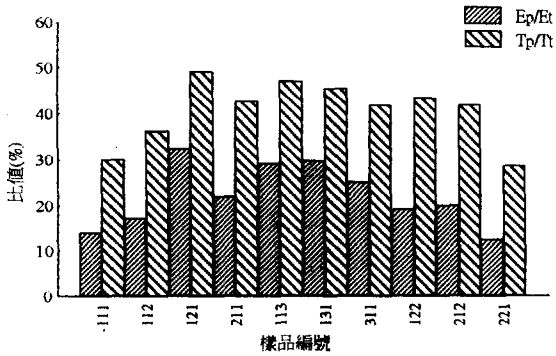


圖 23　90 度、45 度、30 度軸向疊層織物成長能與成長時間之相關性

由圖 23 可知，以四層中之 121 和五層中之 113 有較好的成長區域和時間的關係。

4-5 抗織物相同層數下不同角度排列之比較

就成長能與成長時間之相關性，由前面幾節討論可看出，以四層所得有佳的成長區，故此節以四層疊層，不同角度軸向織物的疊層予以探討，是否有趨勢性存在。

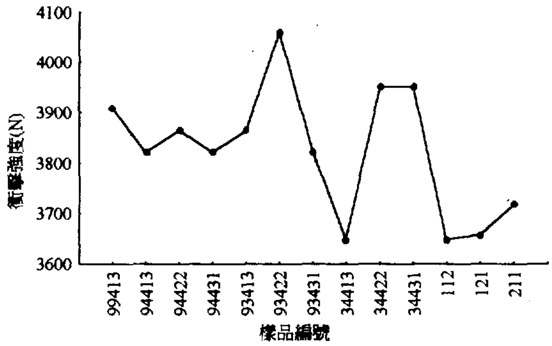


圖 24 四層不同角度疊層與衝擊強度的相關性

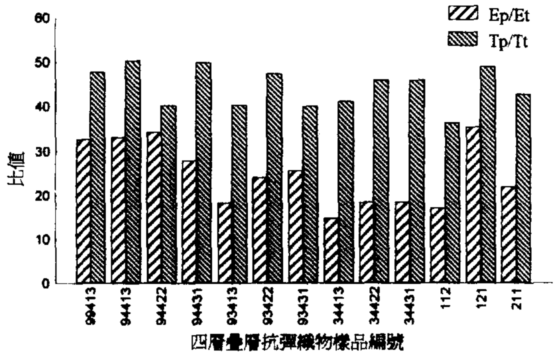


圖 25 四層不同角度疊層與成長能及成長所需時間的相關性

由圖 24 可知，90 度放置於前兩層時均有較佳的衝擊強度，99413 均以 90 度織物疊層，並非最差，94422 較 94413、94431 爲佳，93422 較 93413、93431 爲佳，而以三種角度排列 211 較 112、121 爲佳，而成長能方面，由圖 25 可得知，也以 94422、34422 爲佳，但亦有不同，93431 爲佳，三角度中以 121，45 度軸向兩層爲佳。

以此來看五層也以 90 度排列於前面有較好的衝擊強度，由圖 26 可知，但成長能卻以前面單層後面疊層爲佳，例 94514，90 度單層 45 度四層；93514，90 度單層 45 度四層；112，90 度單層 45 度單層 30 度三層，由圖 27 得知。

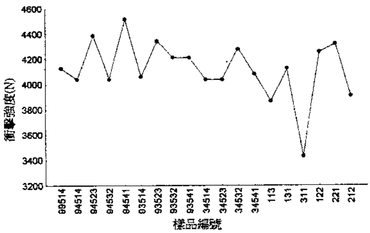


圖 26 五層不同角度疊層與衝擊強度的相關性

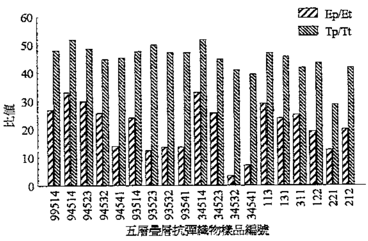


圖 27 五層不同角度疊層與成長能及成長所需時間的相關性

4-6 抗彈織物能量吸收之最佳排列

就放置前後來說，擺在前面的要有較好抵抗子彈的衝擊強度，而擺在後面的要有較好的能量收，除了希望能有較好的起始能外，也希望其所成長的時間能夠拉長，以利於織物將子彈破壞。

以 90 度疊層來看以五層疊層有較好的衝擊強度，而以四層有較好的能量吸收。

以 90-45 度疊層來看以五層中之 94514 有較好的衝擊強度，而以四層中 94422 有較好的能量吸收。

以 90-30 度疊層來看以五層中之 93523 有較好的衝擊強度，而以四層中 93422 有較好的能量吸收。

以 30-45 度疊層來看以五層中之 34532 有較好的衝擊強度，而以五層中 34514 有較好的能量吸收。

以 90-45-30 度疊層來看以五層中之 221 有較好的衝擊強度，而以五層中 113 有較好的能量吸收，四層中以 121 有較好的能量吸收。

就相同四層排列中，實驗分析可知，以兩層織物疊層爲單位排列，會得到較好的衝擊強度及能量吸收，而成長時所需時間的相關性在於與子彈磨擦阻抗的時間，其考慮因素是在於放置的位置，應在防彈織物之前、中、後的差別，衝擊強度大能量吸收小的擺於前面以抵抗子彈的初始破壞，衝擊強度可、能量吸收大、成長時間大，此種排列擺於中間，以消耗子彈穿入抗彈織物時的能量，能量吸收大、成長時間短，擺於後層，迅速擴散吸收子彈嵌於抗彈織物後的最終能量，以達到最佳防護效果。

5 結論

由本研究衝擊實驗可得到下列幾點：

(1)改採彈形衝頭能在能量吸收圖中得到較好的成長區域。

(2)在此實驗測試，其衝擊強度並非織物的真正之破壞衝擊強度，因爲織物並未衝破，以複合材料測試來說，材料要有破壞，其最大破壞的力才能稱之爲衝擊強度，而在此實驗中之衝擊強度只能說是衝擊凹陷強度，只將織物衝變形而未破壞。

(3)改變織物的層數角度，會影響成長能及起始能的大小。對於織物角度改變疊層，會影響到衝擊的能量，可推測子彈射擊不同角度疊層之織物，必會有不同的效果，而且其實際上又加上了剪切力，可能影響更多。

(4)以相同角度的織物，以兩層爲一單位，而進行排列會有較好的衝擊強度和能量吸收，以兩層 90 度正向和兩層 45 度軸向疊層有較佳的能量吸收。

(5)推測以偶數層數疊層相同角度再去以不同角度去排列測試，能有較好的效果，可見得防彈衣內之織物不一定只限於同一角度的排列有最佳抗彈效果，可以搭配不同角度的排列會有比同一角度較佳的效果。

(6)本實驗衝頭只採用九零手槍彈頭車削，不能概括所有的彈頭，亦可車削不同彈頭型之衝頭測試，加以比較。

(7)本實驗之機台之衝擊速度，是以自由落體方式，並不能達到真正子彈的速度，可改良機台加以空壓加速器，加速衝頭的速度，以更近似子彈的衝擊模式。

謝誌

感謝內政部警政署提供防彈衣，台灣科技大學纖維高分子研究所麥技師立志提供機台使用權及機台使用上之指導與教授，及趙永泰、楊長釗與陳和成先生於實驗期間所提供之協助，使本研究得以順利進行，在此一併致謝。

參考文獻

1. 西德聯邦警察防彈衣測試標準，DTE.
2. "Ballistic Resistance of Police Body Armor NIJ Standard 0101.03", Technology Assessment Program, *National Institute of Justice*, (1987)
3. "Selection and Application Guide to Police Body Armor NIJ Guide 100-87", Technology Assessment, *National Institute of Justice*, 10-11(1987)
4. 葉蔚南，黃鼎貴，防彈複合材料(二)：抗彈性能測試方法，強化塑膠廣用新知，第廿九期，96-107(1986)
5. 朱政崑，防彈織物的測試方法，紡織速報技術天地，第四卷，第十二期，20-23(1996)
6. 鍾湘台，黃鼎貴，中正理工學院研究所七十五學年度第二學期碩士論文，中華民國，17-33(1987)
7. 梁大同，謝新龍，複合防彈裝甲先進材料應用簡介，材料與社會，第六八期，89-93(1992)
8. 黃鼎貴，防彈複合材料，中山科學研究院材料研發中心，(1997)
9. 游錫楊，纖維複合材料，國彰出版社，台北，中華民國，85-104(1992)
10. 許永綏，高性能纖維學，財團法人徐氏基金會，台北，中華民國，82-94，107-116(1992)
11. 陳榮傑，紡織品，文華堂出版社，高雄，中華民國，32(1993)
12. 財團法人中國紡織工業研究中心，纖維物理，中國紡織工業研究中心，台北，中華民國，77-78(1994)
13. 羅應鈞，黃鼎貴，防彈複合材料(一)：個人防護裝備用之複合材料，強化塑膠廣用新知，第廿八期，80-88(1986)
14. 朱政崑，邢文灝，四層織組織對抗彈性之影響，紡織中心期刊，第六卷，第四期，260-266(1996)
15. 張欽隆，邢文灝，梭織物立體織物結構之研究，華岡紡織期刊，第四卷，第一期，47-53(1997)
16. 柯勤哲，邱長損，發泡基材積層板衝擊性能研究，紡織科學，22-27(1997)
17. 陳聖一，徐志華，李迪君，高能材料落錘敏感度研究，火藥技術，第九卷，第一期，21-26(1993)
18. 徐洪祥，康易隆，石樂水，破裂測試上之應用，黃埔學報，第三二期，315-324(1996)
19. 鍾明賢，黃萬成，複合材料皮件結構衝擊損傷分析，中國航空太空學會學刊，第廿四卷，第一期，81-88(1992)
20. 張智傑，李錟鋒，碳纖維強化樹脂複合材料受衝擊之探討，華岡紡織期刊，第二卷，第三期，19-27(1995)
21. "Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials", *American Society For Testing and Materials*, ASTM D-256, 57-73(1989)
22. "Tear Resistance Of Woven Fabrics By Falling Pendulum (Elmendorf) Apparatus", *American Association of Textile Chemists and Colorists Test Method*, ASTM D 1424-63, 336-339(1967)
23. B. Parga-Landa, F. Hernandez-Olivares, An Analytical Model to Predict Impact Behaviour of Soft Armours, Int. J. Impact Engng **16**, No 2, 455-466(1995)

附錄 1

90° 軸向疊層織物樣品編號說明

99211	90° 一層	90° 一層	共兩層
99312	90° 一層	90° 二層	共三層
99413	90° 一層	90° 三層	共四層
99514	90° 一層	90° 四層	共五層

90° 、45° 軸向疊層織物樣品編號說明

94211	90° 一層	45° 一層	共兩層
94312	90° 一層	45° 二層	共三層
94321	90° 二層	45° 一層	共三層
94413	90° 一層	45° 三層	共四層
94422	90° 二層	45° 二層	共四層
94431	90° 三層	45° 一層	共四層
94514	90° 一層	45° 四層	共五層
94523	90° 二層	45° 三層	共五層
94532	90° 三層	45° 二層	共五層
94541	90° 四層	45° 一層	共五層

90° 、30° 軸向疊層織物樣品編號說明

93211	90° 一層	30° 一層	共兩層
93312	90° 一層	30° 二層	共三層
93321	90° 二層	30° 一層	共三層
93413	90° 一層	30° 三層	共四層
93422	90° 二層	30° 二層	共四層
93431	90° 三層	30° 一層	共四層
93514	90° 一層	30° 四層	共五層
93523	90° 二層	30° 三層	共五層
93532	90° 三層	30° 二層	共五層
93541	90° 四層	30° 一層	共五層

30° 、45° 軸向疊層織物樣品編號說明

34211	30° 一層	45° 一層	共兩層
34312	30° 一層	45° 二層	共三層
34321	30° 二層	45° 一層	共三層
34413	30° 一層	45° 三層	共四層
34422	30° 二層	45° 二層	共四層
34431	30° 三層	45° 一層	共四層
34514	30° 一層	45° 四層	共五層
34523	30° 二層	45° 三層	共五層
34532	30° 三層	45° 二層	共五層
34541	30° 四層	45° 一層	共五層

90° 、45° 、30° 軸向疊層織物樣品編號說明

111	90° 一層	45° 一層	30° 一層	共三層
112	90° 一層	45° 一層	30° 二層	共四層
113	90° 一層	45° 一層	30° 三層	共五層
121	90° 一層	45° 二層	30° 一層	共四層
131	90° 一層	45° 三層	30° 一層	共五層
122	90° 一層	45° 二層	30° 二層	共五層
211	90° 二層	45° 一層	30° 一層	共四層
311	90° 三層	45° 一層	30° 一層	共五層
221	90° 二層	45° 二層	30° 一層	共五層
212	90° 二層	45° 一層	30° 二層	共五層

A Research of the Impact Energy by Simulating Bullet

C. L. Liu,　W. H. Hsing, K. C. Lee
Department of Textile Engineering Chinese Culture University

ABSTRACT

The analysis of the impact behavior was based on the falling weight type machine. To simulate bullet behavior in the back the layers of armor. We replaced the head of the sensor in bullet shape and set the weaving fabrics into different layers by different axes.Trying to find out butter and effective permulation. Finally, we find that simulating bullet can get better energy area than the original way. The best result of stress absorbing is arranging two by two layers by 90 and 45degree..

Key words：impact testing、absorbing energy、permutation and piling