

非滲透式防護服材質物性及抗化毒效能之鑑測分析

作者簡介

作者施承坤上校，畢業於中正理工專 13 期化工科、化校正規班 37 期、國防大學陸院 90 年班，歷任排長、連長、營長、化兵組長、總部副組長，現為國防大學理工學院應化所研究生。

指導老師：國防大學理工學院應化所張德全教授、吳國輝副教授。

提要

- 一、國軍因面臨國防預算日益緊縮，現有之透氣式(air permeable)碳纖布防護服造價昂貴，短期內無法達單兵每人配發一套之要求，如能先行採購價格便宜、材質輕巧，又能使官兵於核生化戰況下，在第一時間完成防護，達戰力保存目的之非滲透式防護服(Impermeable NBC suit)，無非為另一選項。
- 二、目前各國非滲透式防護服產品琳瑯滿目，標示之功能亦有如無所不能，免不了讓人質疑。因此，本研究蒐整了美國杜邦、以色列、我國中科院自製之非滲透式防護服材質及本軍之軍用雨衣，測試其對模擬戰劑及部分工業毒化物之阻抗效能，並實施物理機械性能之比對分析，提供國軍後續採購作業參考。

壹、前言

人類使用生化武器由來已久，早在古希臘時代即有藉病死屍體投入敵方傳染疾病，第一次世界大戰亦以氯氣展開化學戰（註1）。由於現今世界存在著許多種族仇恨、宗教對立以及政治糾紛等問題，致使衝突、摩擦不斷地上演。為了因應戰爭的需求，許多國家大量生產毀滅性生化武器，加上恐怖組織的存在與恐怖主義的盛行，使得世界上無時無處不存在著生化戰或生化恐怖攻擊的危險（註2）。然而，恐怖攻擊一般為無預警徵候，不定時、非定點的突發狀況，再加上生化武器之無色、無味特性，使得預警能力更顯困難，因此，個人防護裝備功能則顯得格外重要。國軍早期使用之 62 式防護服係屬非滲透式，目前歐美各先進國家亦有製產，並依地區現況、任務不同，而使用各種材質之非滲透式防護服，其運用相當廣泛。例如在軍事消除作業方面，一般運用於化學兵專業部隊之消除作業及一般單兵之個人核生化防護；在反恐應變行動方面，則運用於第一時間快速反應部隊、警戒封鎖或防疫之第一線人員、災害救援與消除作業小組等（註3）。

註1 劉濟春，“由恐怖攻擊事件談化學戰防護”，核生化防護半年刊，第 73 期，第 23 - 30 頁，2002 年 2 月。

註2 蔡德豪，“九一一事件後美國生化防護之發展”，核生化防護半年刊，第 73 期，第 41 - 53 頁，2002 年 2 月。

註3 Alyse Wilmes, Richard Mountford, “Demilitarisation of Chemical Weapons -Advanced Personal Protection Systems.,” Dupont publication.

貳、非滲透式防護服之材質特性簡介（註4）

一、材質

多為化學高分子薄膜材料，以多層膜加工或採用塗布加工於布料而成，分述如下：

- （一）多層膜材質（Multilaminar film簡稱MLF）：如PVC、PE、Nylon等以三明治方式複合而成。產品如Amilon、Ritoten、Mylothene等其價格便宜，但不耐機械性傷害，如刮破或刺破，影響密閉性防護效果；優點為重量輕（100~150 g/m²），厚度約為 0.02~0.1 mm。
- （二）塗佈加工材質：如布料（Nylon或PE）外層以丁基橡膠塗布而成，布料較厚重（250~500 g/m²）可以消除劑消除後再使用，如早期國軍使用之 62 式防護服及中共現仍使用之M66 式防護服。

二、特性

- （一）可完全阻擋化學戰劑，不論是液態、氣態或氣溶膠，抵抗時間依材質而有別，完全防水，可做為消除作業使用。
- （二）因不具透氣及排汗性，會造成熱疲勞，不可做高頻率之運動或戰鬥任務，穿著時間短，依地區氣候特性約為 0.5~3 小時。
- （三）價格便宜，重量輕，體積小，攜帶方便，使用後可直接焚燬。

參、實驗材料與方法

一、實驗材料

（一）實驗材料與樣品（如表 1）

表 1 實驗材料與樣品一覽表

材料（樣品）	特性	廠牌	數量
TYVEK 防護服	高密度 PE 共四層	杜邦	1 套
Supergum 防護服	PE, Nylon, PE 共三層	以色列	1 套
口袋型防護服	PE, Nylon 共兩層	中科院	1 套
軍用雨衣	PU、Nylon 共兩層	軍備局 302 廠	1 套
液態模擬芥氣毒劑	含硫毒化物	中科院	1 罐
液態模擬神經毒劑	含磷毒化物	中科院	1 罐
硫酸(H ₂ SO ₄)	強酸（純度 95-97%）	MERCK	2.5L
氫氧化鈉(NaOH)	強鹼（50%水溶液）	MERCK	1kg

（二）實驗儀器（如表 2）

註4 John Eldridge, “Nuclear, Biological and Chemical Deffence - Individual Protection.,” Jane’ s Information Group Ltd., pp. 253-295, 2004.

表 2 實驗儀器一覽表

儀器品名	特性	廠牌
電子天秤	量測精度 1×10^{-5} g	Precisa 310M
游標卡尺	量測精度 0.01 mm	Mitutoyo
氣相層析儀(GC)	化學物質分析	HP 5890 SERIES II Plus, 6890N
火焰光度檢測器(FPD)	量測含磷、硫之化合物	Agilent Technologies
酸鹼度測定計(pH-meter)	量度 pH 值的變化	PHM250
掃描電子顯微鏡	最高倍率可達 10 萬	HITACHI S-4700
萬能材料試驗機	伸拉張力測試	自行組裝

二、實驗方法

(一) 物理機械性能測試

本項實驗先行蒐整各廠商提供之現有資料，物理伸拉及撕裂試驗項目，以萬能材料試驗機（註5），如圖 1，進行伸拉張力與撕裂測試，以利後續分析比對。



圖 1 萬能材料試驗機

(二) 模擬化學戰劑靜態滲透測試

使用Agilent Technologies火焰光度檢測器（註6）配合氣相色層分析儀（如圖 2）。調整氫氣壓力在 30 psi、空氣壓力 60 psi、氮氣（載體）壓力 40 psi；設定GC之OVEN TEMP為 80℃，DET B TEMP為 120℃，AUX TEMP為 80℃；記錄器之CHART SPEED調整至 0.1 mm/sec；依據美軍之標準規範(MIL-STD-282 Method 204.17 and 209.18)，裁剪各類非滲透式防護服材質 5×5 cm大小之樣品

註5 <http://homepage.ntu.edu.tw/~b91507044/exp/final/4TENSILereport.doc>

註6 “Flame Photometric Detector Operation Manual 116538 E,” TREMETRICS Inc., revised Aug, 1991.

註7 MIL-STD-282 Method 204.1.1, “Mustard Resistance of Impermeable Materials

置於滲透槽基環上，並蓋上套環（內徑面積為 4 cm^2 ），於 $22\text{--}25^\circ\text{C}$ 之溫度下，以 4 mg 之模擬 HD(GB) 戰劑（分 1 滴，約 1 mg/cm^2 ）進行靜態滲透測試，滲透之模擬戰劑累計劑量達 $2\text{ }\mu\text{g/cm}^2$ （美軍標準規範為 $4\text{ }\mu\text{g/cm}^2$ ）為標準穿透時間 (Normalized Breakthrough Time)。

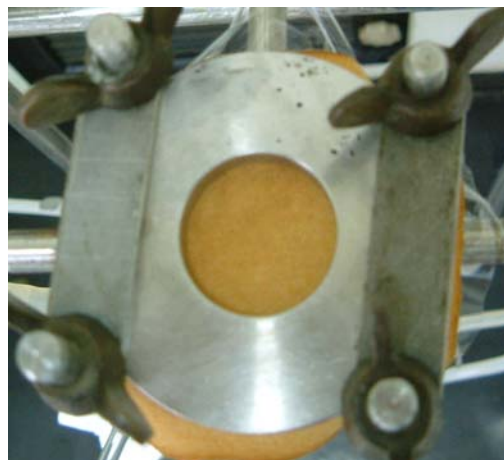
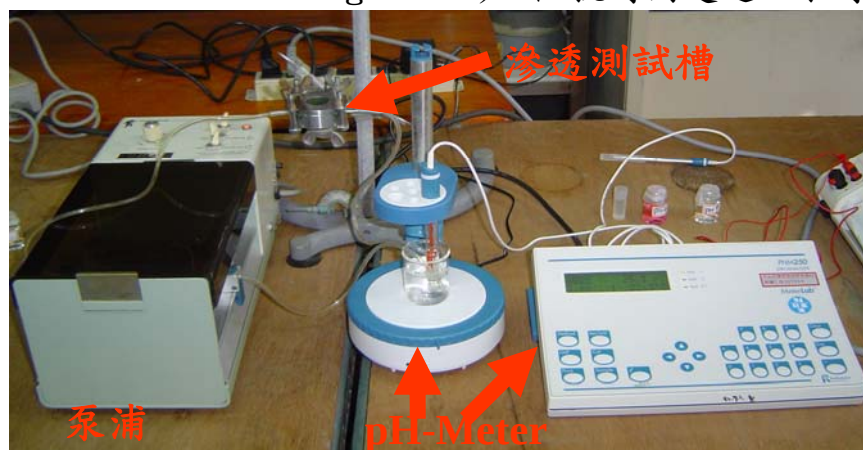


圖 2 火焰光度檢測器配合氣相色層分析儀(GC-FPD)及滲透槽

(三) 工業毒化物之滲透測試

將欲測試之樣品布料放置於滲透槽基環上並蓋上套環鎖緊（如圖 3），靠布料的上方槽內注滿測試液，下方基環槽中則加注水，基環槽之入、出口處以導管連接至小燒杯中，其間以小型泵浦構連使成循環系統，並以 pH-Meter（註 9）持續檢測燒杯中溶液，若測試液穿透布料，即可透過 pH-Meter 執行滲透分析，依 ASTM F739（註 10）規範，滲透之測試液累計劑量達 $0.1\text{ }\mu\text{g/cm}^2/\text{min}$ 為標準穿透時間 (Normalized Breakthrough Time)，阻抗時間超過 8 小時為合格。



(Static-Diffusion Method),” 28 May, 1956.

註8 MIL-STD-282 Notice 4 Method 209.1, “Mustard Resistance of Impermeable Materials (Static-Diffusion Method),” 3 Dec., 1974.

註9 http://www.chem.ccu.edu.tw/~cyhung/Web-ccu/book/experiment_12.htm

註10 ASTM F-739, “Standar Test Method for Resistance of Protective Clothing Materials to Permeation by Liquids or Gases Under Conditions of Continuous Contact1,” American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

圖 3 pH-meter 結合布料滲透測試槽

肆、結果與討論

一、非滲透式防護服布料物理機械性能比較分析

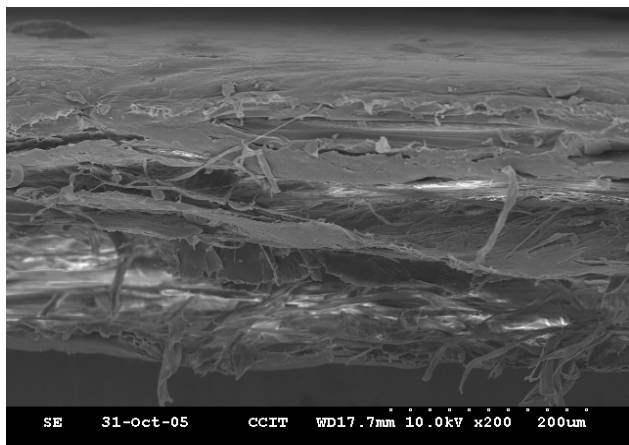
吾人蒐整 4 種非滲透式布料，依美國材料測試標準 ASTM (American Society for Testing and Materials)實驗結果（如表 3）得知，在抗張強度方面，以中科院口袋型防護服較佳；而撕裂強度方面，則以雨衣明顯較佳。顯示布料之材質成分以及比例為影響之關鍵因素。然而，對於非滲透式防護服布料材質之物理機械性能評選，無法單憑簡單的伸拉和撕裂實驗數據為主，重要地，還必須考量到作戰需求（戰術運用）、舒適度、老化實驗之可靠度、銷毀處理之環保問題等相關因素，方能更為縝密。

表 3 非滲透性防護服布料材質之物理機械性能

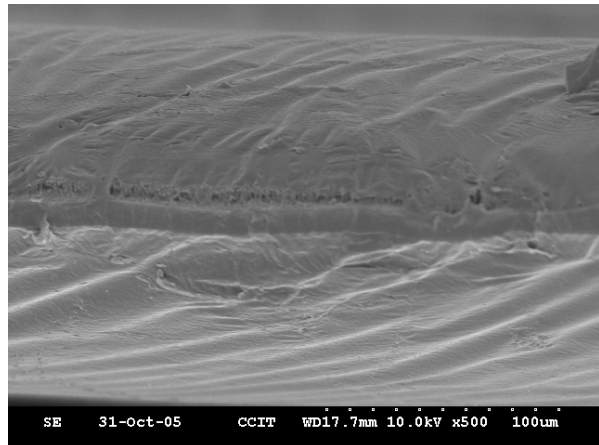
樣品 特性	杜邦 TYVEK	以色列 SUPERGUM	中科院 口袋型	軍用雨衣
材質 Composition	高密度 PE 共四層	PE, Nylon, PE 共三層	PE, Nylon 共二層	PU, Nylon 共二層
顏色 Color	綠色	透明	透明	綠色
重量(g/m ²) Weight	118	103	51	220
厚度(μm) Thickness	200	110	50	140
抗張強度(kgf/cm ²) ASTM-D-882 Tensile Strength	344	255	376	339
伸長率(%) ASTM-D-882 Lengthening	37	433	388	55
撕裂強度(kgf/cm) ASTM-D-1004 Tear Strength	23	23	0.66	68

二、非滲透式防護服布料橫切面之 SEM 分析

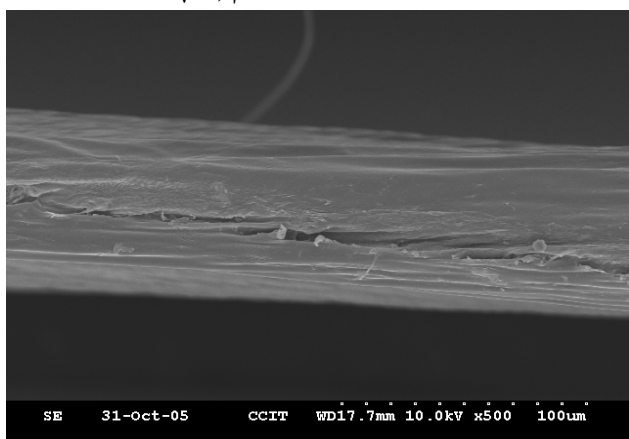
由圖 4 對所蒐集之 3 種非滲透式防護服布料及雨衣之橫切面 SEM 放大照片，可清楚看出杜邦 TYVEK 結構為 4 層（高密度 PE）、以色列 SUPERGUM 結構為 3 層（PE、NYLON、PE）、中科院口袋型結構為 2 層（PE、NYLON）、軍用雨衣結構為 2 層（PU、NYLON）與廠商提供資料均相符。其中杜邦 TYVEK 及以色列 SUPERGUM 之布料分別為 4 層及 3 層，且各層間壓鑄效果較為密合，杜邦 TYVEK 產品更有一層類似人造織物為基底，強固其韌性，應可增強其物理機械性能。



杜邦 TYVEK



以色列 SUPERGUM



中科院口袋型



軍用雨衣

圖 4 非透氣式防護服布料之橫切面 SEM 放大圖片

三、非滲透式防護服材質作戰基本需求分析

本實驗蒐集的 4 種非滲透式材質，均具備質輕、廉價（較滲透式便宜許多）、易加工等特性，然而，我們仍能就以下幾點部隊作戰基本需求特性，做一比對分析。

- （一）就舒適性而言，4 種材料均屬非滲透式，容易增加穿著者之熱壓迫，然而，其中僅杜邦 TYVEK 之內層貼合一層極薄的不織布，有效地降低了這類高分子不透氣材料，直接接觸皮膚的不舒適感。
- （二）就柔軟性而言，中科院之口袋型防護服因材質最輕薄柔軟，穿著時亦最能保形，在各種工作環境條件下，對機動性及敏捷性影響最小。
- （三）就攜行便利性而言，中科院之口袋型防護服材質最為輕薄，經折疊後體積極小，可逕行放入面具攜行袋中，不會占據空間，可說是攜行最便利。
- （四）就野戰偽裝而言，僅有杜邦 TYVEK 於外層塗有抗紅外線之各種顏色或迷彩塗料，較能符合部隊作戰或反恐行動需求。
- （五）就色層辨識而言，吾人蒐集之 4 種材質雖均為兩層以上結構，然均不具備色層辨識功能，在穿著執行任務或平常保養時，無法提供磨損和毀壞之

視覺上的指示，易增加官兵於化毒狀況下之染毒機率（註11）。

四、非滲透式防護服布料對模擬化學戰劑與工業毒化物阻抗效能分析

表 4 為各種非滲透式布料之防護效能結果，顯示杜邦 TYVEK、以色列 SUPERGUN 及中科院口袋型 3 種制式防護服布料，其阻抗模擬化學戰劑與強酸、強鹼之效能均佳，符合測試規範。而國軍軍用雨衣除對於強鹼效能較佳外，對模擬化學戰劑與硫酸之防護則如同一般織布一樣，阻抗效能極有限。研究分析，顯示 3 種制式防護服中均含 PE，故 PE 應為阻抗化學毒劑之必要材質。

表 4 非滲透式防護服布料之防護效能

樣品 特性	杜邦 TYVEK	以色列 SUPERGUN	中科院 口袋型	軍用雨衣
模擬 HD 防護能力 MIL-STD-282	>24 h	>24 h	>24 h	3 min
模擬 GB 防護能力 MIL-STD-282	>24 h	>24 h	>24 h	8 min
H ₂ SO ₄ (95~97%) 防護能力 ASTM F739	>8 h	>8 h	>8 h	12 min
NaOH(50%水溶液) 防護能力 ASTM F739	>8 h	>8 h	>8 h	>8 h
國軍制式迷彩布料依 ASTM F739 測試標準對 NaOH(50%水溶液)防護能力僅 20 秒鐘。				

伍、結論

非滲透式防護服材質通常是在薄膜、上膠的布料與薄片上，以不同方式結合成多層防護、輕、薄、不透氣布料。其不透氣特性，通常不適合長時間穿著執行任務，然而，亦因為具備質輕、著裝快速、完全阻隔毒劑等特性，常被運用於未知的染毒環境、第一時間快速反應、以及可能遭大量毒液潑濺之消除作業。因此，其材質的抗毒效能則為評選之第一考量要素。由表 3,4 顯示：軍用雨衣無法長時間阻抗化學毒劑，不足以做為制式防護服的替代品，僅能在無任何防護裝備時，對皮膚行立即、短暫的遮蓋，使傷害些微降低；其他 3 項制式防護服產品經模擬 HD、GB 及硫酸(H₂SO₄)、氫氧化鈉(NaOH)之滲透測試，結果均符合防護標準。其次，在物理機械性能方面，伸拉及撕裂強度隨著材質成分、

註11Ruth A. Jamke, "CHALLENGE®1 - The ultimate in CB barrier materials,"
Saint-Gobain Performance Plastics 702 Daniel Webster Highway Merrimack, NH 03054 ,
2002.

比例、厚薄、加工方法等，均有明顯差異。本實驗僅依伸拉及撕裂試驗所得參數提供比對分析，進一步的老化可靠度、摩擦、穿刺等試驗，仍有待研究探討。最終的評選，應進一步配合戰術性能測試，考量作戰需求（戰術運用）、整體後勤補保、效期、單價、環保等相關因素。非滲透式防護服雖然有其無法克服改進的缺失（如不透氣、不夠舒適等），然而，由歐、美各先進國家仍保留，甚或更斥資投入研發精進，且納入部隊、警察及其他維安單位之制式裝備，顯示仍有其不可取代性，在作戰需求及戰術運用方面，值得我國軍相關單位再深入探討，或許可解決目前因國防經費不足，多數國軍官兵無化生防護基本裝備之窘境。

致謝：本研究特別感謝中科院四所提供相關儀器設備與藥品，以及海軍司令部田菁菁少校協助商情蒐整，使實驗分析得以更臻完備。