



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 導電性織物強化複合材料之機械性質電氣性質 及電磁波遮蔽性質之研究

### A Study Of The Electrical And Impact Properties On Metal Fabric Reinforced Composites

計畫編號：NSC 90-2216-E-034-003

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：李貴琪副教授 中國文化大學紡織工程學系

共同主持人：邢文灝副教授 中國文化大學紡織工程學系

#### 一、中文摘要

本計劃係採用不鏽鋼、銅纖維為導電填充材，以碳纖維、玻璃纖維、克維拉纖維為強化材，以熱可塑性纖維為基材，經由開端式摩擦精紡機，紡製成導電性包芯複合紗，再將所紡製成功之複合紗，以梭織打樣機製織成單層及多層之梭織物結構與以5,7針橫編針織機織造成單層及夾入之羅紋與平紋針織物，施以熱壓成型，藉由不同組織結構與組成，不同的織物密度，來探討其機械性質、電氣性質及電磁波遮蔽性質。

**關鍵詞：**複合材料、電磁波屏蔽效應、複合紗、針織物、梭織物

#### Abstract

In this study, PET and PP fiber are the matrix phase, and carbon, glass, Kevlar fiber are the reinforcement phase of the composite material. The stainless steel staple fiber, stainless steel wire, copper wire are incorporated as conductive filler to provide the electromagnetic shielding properties of the composite material. Firstly, the uncommingled yarn fabricated by open-end friction spinning frame. The hand loom was used to weave the single and multiple layers of woven fabrics. The 5G and 7G flat knitting machine were used to make the rib and plain knitted fabrics as well as their inlaid knitted fabrics. Composites with different number of plies were fabricated using compression molding method. The

effects of processing parameters, stacking sequence, and loading direction on the tensile properties and failure mechanisms of knitted and woven fabric composites are discussed. The mechanical properties and the electromagnetic shielding effectiveness are investigated in different fabric structures and densities.

**Keywords:** Composites, electromagnetic shielding effectiveness, uncommingled yarn, knitted fabric, woven fabric

#### 二、緣由與目的

由於電子、通訊等產品的普遍性與使用頻率的大幅增加，使我們生活環境中的電磁波環境也變得更加複雜，造成電子設備極易受其干擾而造成損壞與誤動。隨著航太工業、國防科技的迅速發展，對於具有可承受外來電磁波干擾能力、質量輕、高強度材料的需求日益迫切，而電子產品的外罩絕大多數是塑膠做為材料，具高強度、抗靜電放電與電磁遮蔽效應的複合材料即可滿足以上之需求，且塑膠材料比金屬材料更兼具價廉、質輕、抗腐蝕性佳、設計自由度大、加工便捷等優越性能，以配合市場之需求[1-3]。但因其具有電與熱的絕緣性質，因此無法有效遮蔽電磁波與靜電放電的干擾，所以利用金屬纖維織物材質與結構之改變及熱壓技術製成兼具機械性質及靜電放電、電磁波遮蔽效應之織

維強化塑膠複合材料。

由於目前人類所處環境中，放射出的電磁波頻率範圍極為寬廣，因此，就必須要有各種不同織物密度的金屬纖維織物，來遮蔽不同波長的電磁波。根據參考文獻及先前研究者的研究結果[4-7]可知，一般的梭織物的織密皆比針織物來的高，而且其強力也比針織物來的好，因此本實驗所採用的基材為熱可塑性纖維材料，以此做為經紗，再輔以金屬纖維為緯紗，織成所需的梭、針織物，並在織物的組織結構上加以變化再配合熱壓之疊合層數的改變，以提高電磁波的遮蔽效果，進一步達到減少電磁波對人體的傷害及保護相關之電子設備免於遭受電磁波、靜電放電之干擾而產生損害與誤動。

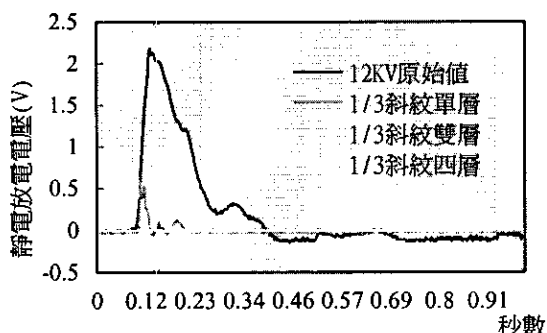
### 三、實驗

- (1)銅纖維：直徑 0.10mm 銅纖維漆包線，電阻值：2.16Ω/m
- (2)銅銀合金纖維：直徑 0.07mm 銅銀合金纖維(2%Ag) 漆包線，電阻值：5.47Ω/m
- (3)聚酯纖維：50d 比重=1.38 g/cm<sup>3</sup>
- (4)不銹鋼絲：直徑 0.10mm 不銹鋼纖維(575.4d)，電阻值：90.31Ω/m
- (5)同軸電磁波屏蔽效應測試儀(Elgal set 19A coaxial holder)

### 四、結果與討論

由圖 1 所示未經樣本覆蓋的原始值在靜電放電時的最大瞬間電壓為 2.19V，經約 0.4 秒後期電壓才降至 0V，經單層之樣本遮蔽後則是於 0.09 秒時便降至 0V，且經雙層與四層遮蔽後的電壓則幾乎為 0V，即靜電放電電壓完全被樣本給消散了，可知其抑制靜電放電電壓的效果十分顯著。

由圖 2 中可知靜電衰減效果，銅銀合金纖維>銅纖維>不銹鋼纖維，因此其靜電



衰減程度取決於金屬纖維的導電性；而從圖 3 可知，經交叉疊層後，其不論何種金屬先為其靜電電壓皆為 0V，因此經過疊層的效果較單層的衰減效果更佳。

圖 1. 不同層數之  $\phi$  0.07mm 銅銀合金纖維 1/3 斜紋梭織物對 ESD 之影響

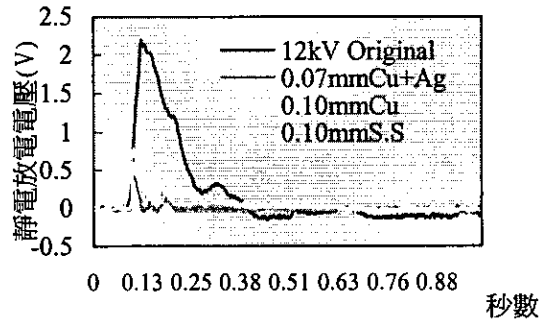


圖 2. 不同纖維之單層 1/3 斜紋梭織物對 ESD 之影響

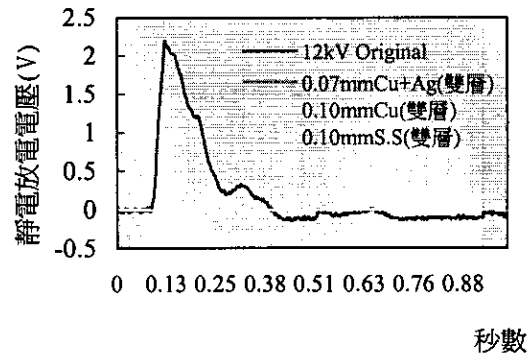


圖 3. 不同纖維之雙層 1/3 斜紋梭織物對 ESD 之影響

如表 1 所示為改變不同金屬緯紗及積層層數之金屬纖維梭織物與其補強熱塑性複合材料對最大值與平均值靜電放電電壓衰減率之關係表，由表 1 中可知，在最大值靜電放電電壓衰減率中，除了單層的銅纖維與不銹鋼纖維梭織布之外，其餘之衰減率幾乎都衰減至 100%，甚至超過，其衰減效果可算是非常優良。因此在顧及經濟成本之考量下，交叉疊層兩層即可達到最佳效果。並且因為最大值靜電放電電壓衰減率對於電子儀器設備之影響甚為重要，更加地突顯出本實驗樣品對衰減靜電放電電壓之成效。針織物亦有相同趨勢。

表 1 1 上 3 下斜紋組織之層數與金屬纖維種類對靜電放電電壓衰減率之影響

織物種類與層	放電電壓為 12KV 最大值靜	放電電壓為 12KV 平均值靜

數	電放電電壓衰減率	電放電電壓衰減率
1/3 斜紋 Cu+Ag-1 層	99.50%	62.54%
1/3 斜紋 Cu-1 層	76.83%	63.92%
1/3 斜紋 S.S-1 層	74.42%	71.12%
1/3 斜紋 Cu+Ag-2 層	100.33%	87.03%
1/3 斜紋 Cu-2 層	100.30%	87.03%
1/3 斜紋 S.S-2 層	100.44%	87.03%
1/3 斜紋 Cu+Ag-4 層	100.44%	87.03%
1/3 斜紋 Cu-4 層	100.44%	87.03%
1/3 斜紋 S.S-4 層	100.44%	87.03%

圖 4 為單層 2/2 斜紋布在喂入不同金屬纖維時，對電磁波屏蔽效應影響的關係圖，在低頻範圍內(0.3~30MHz)，其屏蔽效应在 70~27dB 之間，屏蔽效果良好，隨著頻率的增加，遮蔽效應有逐漸減弱而趨於平緩，就此圖的曲線而言，銅纖維與不銹鋼纖維的遮蔽效應皆相當接近，而較細之銅銀合金纖維僅在 0.3MHz(80.4dB)與 450MHz(41.7dB)的波段具較佳的屏蔽效果。

圖 5 為單層 1/3 斜紋布在喂入不同金屬纖維時，對電磁波屏蔽效應影響的關係圖，在低頻範圍內(0.3~30MHz)，其屏蔽效应在 87~32dB 之間，屏蔽效果較 2/2 斜紋組織稍佳，且銅纖維的導電係數高於不銹鋼纖維之故。隨著頻率的增加，電磁波遮蔽效應逐漸趨於平緩，若改良成高密度、多層的梭織物組織結構，應當可以提昇其電磁波屏蔽效應。電磁波遮蔽效應的優劣順序如下：0.07mm 銅銀合金纖維>0.10mm 銅纖維>0.10mm 不銹鋼纖維，其主因在於 0.07mm 銅銀合金纖維含有極高導電係數的銀、直徑較細，且銅纖維的導電係數高於不銹鋼纖維之故。

圖 6 為單層八枚五飛緯面緞紋織物在喂入不同金屬纖維時，對電磁波屏蔽效應影響的關係圖，在低頻範圍內(0.3~30MHz)，其屏蔽效应在 98~35dB 之

間，隨著平面波頻率的增加，電磁波遮蔽效應有逐漸減弱而趨於平緩的趨勢，其遮蔽效應有逐漸減弱主要原因在於愈高頻率者的穿透性愈強的緣故、波長愈短愈不易屏蔽，在中頻範圍內(300~450MHz)，由於電磁波在此處容易產生駐波(Standing Wave)，而使電磁波遮蔽效應有些微提昇的現象，其主要原因在於反射表面之電場強度幾乎相抵消、磁場的振幅增加而使得屏蔽效應提高，在高頻~極高頻範圍內(600~3000MHz)，隨著頻率的增加，電磁波遮蔽效應逐漸趨於平緩，若改良成高密度、多層的梭織物組織結構，應可以提昇其電磁波屏蔽效應。

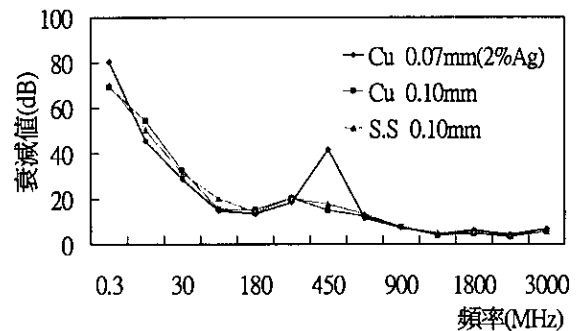


圖 4.不同金屬纖維之 2/2 織物組織對 EMS 的影響

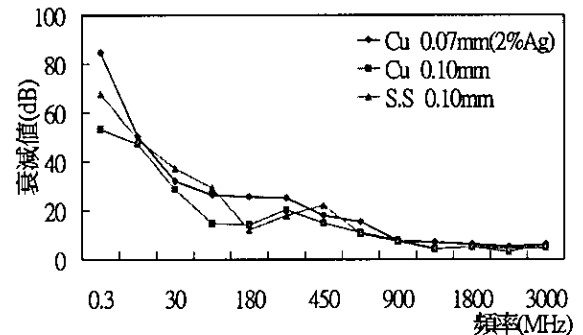


圖 5.不同金屬纖維之 1/3 織物組織對 EMS 的影響

不論是以何種金屬纖維當做緯紗而言，電磁波遮蔽效應的優劣依序如下：八枚五飛>1/3 斜紋組織>2/2 斜紋組織，其主要原因則是在於八枚五飛緯面緞紋織物緯密>1/3 斜紋織物緯密>2/2 斜紋織物緯密的緣故。

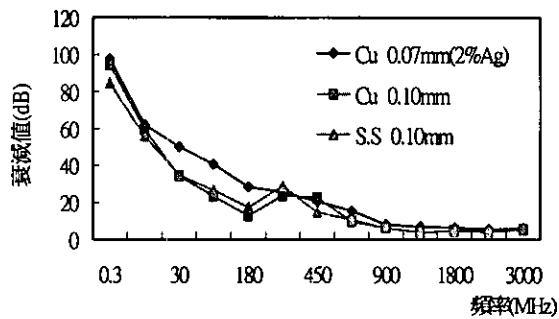


圖 6.不同金屬纖維之八枚五飛緯面緞紋織物對 EMS 的影響

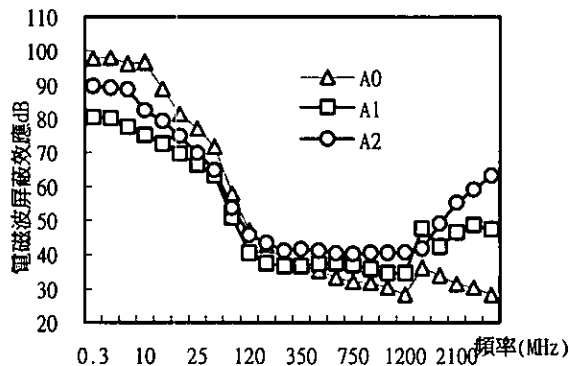


圖 7.針織物導電熱可塑性複合材料在 0.3 至 3000MHz 電磁波屏蔽效應 (A0: 未夾入、A1: 夾入一根、A2: 夾入二根)

如圖 7 所示為比較 A0、A1、A2 導電熱可塑性複合材料之電磁波屏蔽效應。A 系列均以不銹鋼纖維/聚丙烯纖維，經中空錠子精紡機加撚而成非均勻性複合紗為原料且餵入兩根為起圈原料，A0 表示未夾入、A1 表示夾入一根、A2 以此類推。A0、A1、A2 導電熱可塑性複合材料之電磁波屏蔽效應將隨夾入非均勻性複合紗根數之增加有漸增之趨勢。其主要原因為隨針織物中不銹鋼纖維含量和碳纖維含量之增加，其導電熱可塑性複合材料之導電性與導磁性亦隨之增加，故較易形成三度空間導電網路，因此複合材料之電磁波屏蔽效應將隨夾入增加有漸增之趨勢。整體之電磁波屏蔽效應將隨入射頻率增加有漸減的趨勢，其主要原因是越高頻率的入射波其穿透性強，因而導致電磁波較易穿透複合材料致使電磁波屏蔽效應減小。

## 五、計畫成果自評

(1)本研究已成功的以中空錠子式精紡機

紡製成多種不同成份之非均勻性複合紗，運用自動橫編機製織多種不同結構之雙面平紋夾入與未夾入組織之不銹鋼/碳纖維/聚丙烯纖維之複合針織物、金屬銅/碳纖維/聚丙烯纖維之複合針織物與金屬銅/Kevlar 纖維/聚丙烯纖維之複合針織物，運用此織物熱壓成導電熱可塑性複合材。

(2)在 0.3-3000MHz 頻率範圍內，隨著平面波頻率的增加，金屬纖維梭織物強化熱可塑性複合材料之電磁波屏蔽效應有漸減且趨於平緩的趨勢，但在駐波產生處，電磁波屏蔽效應則有增加的趨勢但隨即又下降。

(3)單層金屬纖維梭織物的最大靜電放電電壓以直徑 0.07mm 銅銀合金纖維(99.5%)為最佳，兩層與四層之最大靜電放電電壓衰減率幾乎皆為 100%。

(4)本研究將可適用於靜電放電之防治與電磁遮蔽材料等用途的應用上。

## 六、參考文獻

- (1).游錫揚，纖維複合材料，國彰出版社，台北，中華民國，3 (1992)
- (2).劉文隆，電磁遮蔽熱塑性材料，廣用科學新知，台北，中華民國，12-19 (1994)
- (3).C.W. Liu, K.C. Lee and K.B. Cheng, A Study on the Mechanical Properties of the Nylon 6 Composites Reinforced by Copper Uncommingled Yarn Fabrics, *Journal of Hwa Gang Textile*, 4, No.4, 418-426(1997)
- (4).Y.S. Lee, K.C. Lee and K.B. Cheng, A Study on the Electrical Properties of Copper Uncommingled Yarn's Fabric Reinforced Nylon 6 Composites, *Journal of Hwa Gang Textile*, 4, No.4, 375-385(1997)
- (5).陳智毓、李貴琪、鄭國彬，銅纖維強化熱可塑性複合材料電磁波屏蔽性質之研究，第 12 屆纖維紡織科技研討會論文集，452-455 (1996)
- (6).H. C. Lie, K. C. Lee, K. B. Cheng, A Study On The Mechanical Properties of Copper Uncommingled Yarn's Fabric Reinforced Polypropylene, *journal of the Hwa Gang Textile*, Vol. 6 No. 4, 325-334 (1999)
- (7).李貴琪、鄭國彬、張意松、吳鴻森、張校熊，不銹鋼復合針織物補強熱可塑性複合材料之製造與電磁波屏蔽效應與靜電放電性質之研究，第 15 屆纖維紡織科技研討會論文集，368-372 (1996)