UHMWPE/Nomex包覆紗製備及物性分析

周文立[1*]、許耀基[2]

1.南亞技術學院材料與纖維系

2.萬能科技大學高分子材料系

摘　要

UHMWPE/Nomex 包覆紗是利用中空錠子撚線機之技術所包繞而成。其中芯絲是採用美國 Allied Signal 公司所生產之超高分子量聚乙烯(UHMWPE： Ultra-high-molecular-weight polyethylene)產品 Spectra1000(375D/120f)，而鞘紗則使用美國杜邦公司所生產之芳香族聚醯胺 Nomex®100%短纖紗。本實驗製備 UHMWPE/Nomex 包覆紗所選擇之參數是 Nomex®100%短纖紗支數及包繞撚度，Nomex®100%短纖紗支數分別為 30's、40's、60's，而包繞撚度則選擇 600TPM~1000TPM。包覆紗之物性則分別探討抗張強力、抗張伸度、比強力、丹尼數、均勻度、含水率及回潮率等性質。經實驗結果顯示，UHMWPE/Nomex 包覆紗之丹尼數、均勻度、含水率、回潮率均隨著包繞 Nomex®100%短纖紗支數之降低及包繞撚度之增加而增加；抗張斷裂強力隨包繞 Nomex®100%短纖紗支數及包繞撚度之降低而增加，但比強力隨包繞 Nomex®100%短纖紗支數增加及包繞撚度之降低而增加；至於伸長量及伸度亦隨包繞 Nomex 支數降低及包繞撚度增加而增加，但最大值則出現在包繞 Nomex 支數 40's 及包繞撚度 900TPM。

關鍵字：UHMWPE/Nomex 包覆紗、包繞撚度、支數、U%回潮率。

E-mail: steve@nanya.edu.tw

The preparation and physical analysis of UHMWPE/ Nomex wraps yarn

Wen-Li Chou[1*], Yao-Chi Shu[2]

1. Department of Fiber and Material, Nanya Institute of Technology, Jungli, Taiwan
2. Department of Polymer Material, Vanung University, Jungli, Taiwan

Summary

UHMWPE/Nomex wrapped yarn is composed of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) filament and Nomex®100% staple yarn. UHMWPE filament which adopts US Allied Signal company product Spectra1000(435D/120) was treated as core filament and Nomex®100% which is made of US Du Pont Company was treated as sheath yarn were be fabricated to UHMWPE/Nomex wrapped yarn via hollow spindle machine. The 30's、40's、60's count of Nomex®100% staple yarn and the 600、700、800、900 and1000TPM (turn per meter) of twist degree were chosen as experiment's parameters. The relationship between tensile strength, tensile elongation, tenacity, denier, U%, water moisture content and regain humidity (RH%), vs. experiment's parameters of UHMWPE/Nomex wrapped yarn would be investigated in this study. The results of physical properties of UHMWPE/Nomex wrapped yarn was revealed that the denier, U%, water moisture content and regain of UHMWPE/Nomex wrapped yarn were increased with the decrease yarn count and increase twist degree of Nomex®100% staple yarn; The tensile strength of UHMWPE/Nomex wrapped yarn was increased with the both decrease yarn count and twist degree; The tenacity of UHMWPE/Nomex wraps yarn was increased with increase the yarn count and decreased with increase the twist degree. For the properties of tensile extension and tensile strain of UHMWPE/Nomex wraps yarn had also trended with the both parameters of yarn count and twist degree, and appeared the maximum value with 40's and 900TPM.

Key word: UHMWPE/Nomex wrap yarn, tenacity, yarn count, twist.

E-mail: steve@nanya.edu.tw

壹、前言

超高分子量聚乙烯纖維因具有極高的比強度和模數，比重僅有 0.925~0.965，有很好的耐低溫、耐腐蝕、耐磨耗、相當低的介電常數和介電損耗等複合性能，但纖維表面非常光滑，摩擦係數小，纖維之間抱合力低，不易織造，造成加工不易之困擾，以及難以染色，且其軟化點僅有 110~115℃，織物易變形等缺點限制其在外觀要求與應用領域[1]。又 Nomex 芳香聚醯胺纖維由於具有永久阻燃性、耐熱性、遇火不會滴熔、也不會助長火勢，在火燄中不延燃、具有自熄性、遇焰不爆裂、具有耐高溫纖維的抗燃防護衣能有效抗拒驟火、高熱及火焰所帶來的危險。由於纖維本身具有防火性（這種防火性能是基於分子結構而不是依賴化學後處理），因此不會滴熔或者在空氣中助燃，而且這種保護是永久性的，不會因為洗滌或磨損而消失且其布料具有耐磨性及抗撕裂性，使穿著者在穿過火場的過程中，不易因尖銳物品的勾扯而造成衣物破損，以致使皮膚暴露於火焰和高溫中，故能將灼傷的程度降到最低，此一堅耐的防護屏障在冷卻之前，始終保持柔軟而富彈性。因此穿著者能爭取到寶貴的幾秒鐘，進而從火場脫身[2]。另具有優良的電工特性、抗高溫能力、機械韌性及柔性，且高於尼龍及聚酯物之熔點，故在較高的溫度下依然能長期保存優良的機械及電工特性，以及在一般大氣中不熔融，亦不助燃，因此幾乎在各種各樣電器中，都被廣泛用為電工絕緣材料。因此本研究將 UHMWPE 與 Nomex 包繞複合，而目前進行包繞加工之機台主要不外乎兩種，一為 Ring Spinning 系統，另一為 Twisting 系統，其中 Ring Spinning 系統，為利用環錠精紡機牽伸區前羅拉吐出短纖（Staple）紗之紡紗三角來包繞芯紗，所製作之包繞成品一般稱為 Core-Spun Yarn，由於紡紗三角範圍很小[3]，無法包繞較粗支數之紗線，且前述兩種系統在包繞過程中大都需經過鋼絲圈之加撚 [4-5]，造成加工紗線與鋼絲圈、鋼絲圈與機件之磨擦，使得加工紗線容易起毛羽或機件磨損，或機台速度無法提高等缺點。因此本研究利用中空錠子撚線之技術將 UHMWPE 與 Nomex 複合製成新世代高強力聚乙烯與 Nomex 複合紗，並以 Nomex 短纖紗之支數及包繞撚度對 UHMWPE/Nomex 包覆紗物性作探討，期能作為製作高強力、輕量化、可織造性、可染色性，以及能具耐磨性、耐高溫之防護手套之應用。

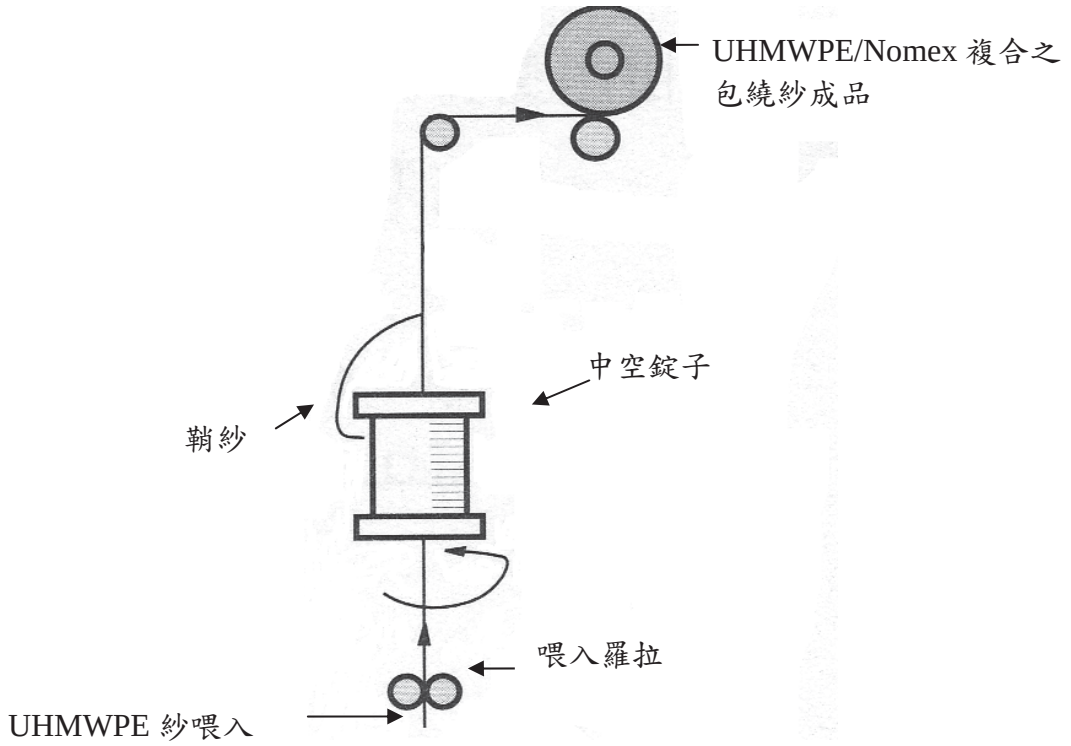
貳、實驗

一、UHMWPE/Nomex包覆紗原料

UHMWPE/Nomex 包覆紗之原料分別為芯絲是採用美國 Allied Signal 公司所生產之產品之超高分子量聚乙烯 Spectra1000(375D/60 根)，而鞘紗則使用美國杜邦公司所生產之芳香族聚醯胺 Nomex®100%短纖紗。其中 Spectra1000 之特性為強度：35g/d、伸度：3.1%、比重：0.97、模數為 1200g/d，另 Nomex®100%短纖紗之特性為強度：5.3g/d、伸度：22%、比重：1.14、回潮率 6.5%。文中 UHMWPE/Nomex30、UHMWPE/Nomex40、UHMWPE/Nomex60 分別是 UHMWPE 芯絲包繞 Nomex 30’s 短纖紗、Nomex 40’s、Nomex 60’s 之短纖紗。

二、UHMWPE/Nomex包覆紗之製備

針對高強力 UHMWPE 表面過於光滑，摩擦係數小，纖維間抱合力低，不易織造等缺點，乃製備高強力聚乙烯與 Nomex 短纖紗複合之包繞紗，選用德國 Saurer-HAMEL-1000 型中空錠子式撚線機，該設備主要特點為，於加撚包繞過程中不需使用鋼絲圈，且包繞過程在密閉空間進行，不受車間氣流、飛花影響，因此包繞成紗過程能穩定進行，此可使包繞之 UHMWPE/Nomex 包覆紗外觀兼具舒適手感、耐磨、易染色織造與高強力等特性。而 UHMWPE/Nomex 包覆紗之包繞原理：將 UHMWPE 作為芯紗（Core Yarn）由餵入羅拉導入中空紡錠中，沿著中空錠子的內部進入中心，再從中空錠子的中心穿出；包覆用 Nomex（鞘紗-Wrapping Yarn）則從固定的筒子引出，經過管座的自由端引入 UHMWPE 紗形成高強力聚乙烯與 Nomex 複合之包繞紗（如圖一所示）。



圖一　高強力聚乙烯與 Nomex 複合包覆紗之包繞紡紗原理

三、UHMWPE/Nomex包覆紗強伸度及比強力之試驗

UHMWPE/Nomex 包覆紗強伸度之試驗標準是採用萬能強力試驗機 (弘達儀器股份有限公司) 並依 ASTM 標準 D 2256-97 試驗法[6]，將測試之樣本 UHMWPE/NOMEX 包覆紗剪成約 30cm 長之長度夾於 10kg 荷重之夾頭且兩端夾頭距離為 25cm 之萬能強力試驗機上，紗之底端施以 4g 的初荷重，使紗保持平直，夾緊於兩頰頭後並以 25cm/min 之定拉伸速率進行測定紗線之斷裂強力(F)及伸長量($\Delta\ell$)。將所測得之斷裂強力值除以紗線密度(丹尼)數即為比強力，而將被拉長之伸長量與原長之比值稱為應變，應變百分率即為伸長率，其式子如下所示：

$$\text{比強力(g/d)} = \frac{F}{D} \tag{1}$$

$$\text{應變} = \frac{\Delta\ell}{L} \tag{2}$$

$$\text{伸長率} = \frac{\Delta\ell}{L} \times 100 \tag{3}$$

其中 F：紗線之斷裂強力，D：紗線丹尼，$\Delta\ell$：伸度(被拉長之長度)，L：紗線測試原長

四、UHMWPE/Nomex包覆紗非均勻度(U%)之試驗

所謂均勻度(evenness, regularity)或非均勻度(irregularity)，都是指各種機器所紡成紗線不均勻之程度(degree of uniformity)。 本試驗測定非均勻度(U%)之方法是依據 ASTM D1425-89 試驗法[7]，將測試之樣本 UHMWPE/Nomex 包覆紗透過 USTER 均勻度試驗儀測定 UHMWPE/Nomex 包覆紗條幹均勻之情況，並利用下列公式運算其 U%及 CV%。

$$U\% = \frac{\left|x - \bar{x}\right|}{n} \times 100 \qquad (4)$$

$$CV\% = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \qquad (5)$$

其中 CV：變異係數，x：測定值， $\bar{x}$：平均測定值，n：樣品數，σ：標準差。

五、UHMWPE/Nomex包覆紗丹尼數之試驗

紗線支數或丹尼數即表示紗線之粗細程度而言，而有關紗線支數之定義有間接制(或稱為定重制)之單位質量之長度及直接制(或為稱定長制)之單位長度之質量，一般紗線支數所提到的丹尼(denier)或德士制(tex)均是屬於定長制之一種，所不同僅是其單位長度不同而已，丹尼之定義為 9000m 時重多少公克即為多少丹尼，而德士之定義為 1000m 時重多少公克即為多少之德士，故兩著間之差別僅在其單位長度，丹尼之單位長度為 9000m –而德士之單位長度為 1000m；同樣在 定重制中所提之支數有分英制及公制，，而英制中亦因不同原料中其單位長度亦不同，如原 Nomex 短纖紗、人造 Nomex 短纖紗，或其他人造纖維和原 Nomex 短纖紗所混合所紡成之混紡紗其所使用之紗線支數均為英制 Nomex 短纖紗支數(Ne)，其定義為每英磅紗線長若干(x)倍數之單位長度，稱為若干(x)支，被表示成 x’s，此處之單位長度為 840 碼(840y)；若對公制支數而言，則以 Nm 表之，其定義為每公斤重紗線長若干(x)倍數之單位長度長稱為若干(x)支，亦被表示成 x’s，此處之單位長度長則為 1000m[8]。換言之，無論採用哪一種系統在檢驗支數時，均是對紗線之長度及重量加以測量。

本試驗方法是依據 ASTM D1907-89 試驗法[9]，將測試之樣本 UHMWPE/Nomex 包覆紗在標準環境下亦即相對溼度 65±2%、溫度 20±2℃下置放 24 小時後，利用搖紗機搖取 80 圈計 120 碼長並利用分析天平秤重，其所得之重量依定重制系統之支數運算公式算出支數(Ne)；或利用定長制支數之運算公式即

可得紗線之支數(N)，此處。

定重制系統之支數運算公式：$N=\frac{L\times w}{l\times W}$ (6)

定長制支數之運算公式：$N=\frac{l\times w}{L}$ (7)

兩者公式中之 L：樣本之長度；l：系統之長度單位；W：樣本在標準狀態環境下之重量；w：系統之重量單位[8]。

六、UHMWPE/Nomex短纖包覆紗回潮率與含水率之試驗

一試料所含水分之多寡可以用回潮率(Regain)與含水率(Moisture Content)表之。換言之，兩者亦可表示材料在標準大氣中所吸收水分之能力。所謂標準大氣之定義為：在一般氣壓下，具有 65%相對溼度以及 20℃溫度之大氣。不過，可允許有某些公差，故一般檢驗之試驗條件為相對溼度 65±2%、溫度 20±2℃下進行回潮率與含水率之試驗。本試驗方法是依據 ASTM D2654-89a 試驗法[10]。將測試之樣本 UHMWPE/Nomex 短纖包覆紗利用搖紗機捲取 80 圈計 120 碼長之樣本放在恆溫恆濕箱之標準環境下(亦即相對溼度 65±2%、溫度 20±2℃)置放 24 小時後，利用微量分析天平秤重以得樣本之濕重，而後將此樣本放在烘箱中並設定烘箱溫度 105±3℃烘乾至樣本絕乾重；所謂絕乾重之定義為：將樣本烘乾至重量為定值，亦即烘乾時，樣本以每隔 20 分鐘時秤其重量，當相鄰前後兩次所測得重量之差在 0.05%以下，即可認為樣本重量已達到定值[11]。當樣本分別成其在標準狀態下之重量(W_1)以及其絕乾重時(W_0)，再利用含水率及回潮率之定義及公式即可分別求得其樣本之含水率及回潮率。

回潮率(R)之定義：試料所含之水份重量而以該試料絕乾重量之百分比表示，換言之其公式為

$$R=\frac{W_1-W_0}{W_0}\times 100 \quad (8)$$

含水率(M)之定義：試料所含之水份重量而以該含水試料重量之百分比表示，換言之其公式為

$$M=\frac{W_1-W_0}{W_1}\times 100 \quad (9)$$

參、結果與討論

三、Nomex短纖紗支數與包繞撚度對UHMWPE/ Nomex包覆紗U%、CV%之影響

紗線之均勻度(U%)是影響布面外觀及品質之重要因子，故本研究針對 Nomex 短纖紗支數與包繞撚度對 UHMWPE/ Nomex 包覆紗 U%、CV%之影響作一番討論。

一般所謂均勻度(evenness, regularity)或非均勻度(irregularity)，都是指以各種機器所紡成紗線不均勻的程度(degree of uniformity)。因此一般材料將之切斷成各種長度，每一種長度之重量可以測出而求其平均值及各值與平均值之偏差以計算平均偏差(mean deviation)並導出平均偏差百分比(percentage mean deviation 簡稱 P.M.D.)當做非均勻度之一種量度，亦即所謂之 U%。而本實驗並非用上述方法求得 U%，而係以使用 Uster 儀器測出變異軌跡而計算其 P.M.D.或變異係數(C.V.)，而 P.M.D 與 C.V.之關係 C.V.=1.25P.M.D.，此兩者均可表示非均勻度。本實驗 Nomex 短纖紗支數與包繞撚度對 UHMWPE/ Nomex 包覆紗 U%及 CV%之影響，測試結果如表一、表二所示，UHMWPE/ Nomex 包覆紗之 U%及 CV%受包繞 Nomex 短纖紗支數與撚度所影響，由表一、表二顯示出 U%及 CV%隨著 Nomex 短纖紗支數之降低及與包繞撚度之增加而增加，換言之 UHMWPE/ Nomex 包覆紗在本研究所設定之參數中，其包繞 Nomex 短纖紗支數為 60 與包繞撚度為 600TPM 時為最佳紗線性質。探究其因，其可能之原因在於一般生產短纖紗時，當生產之紗線支數愈高時代表紗線愈細其所要求之品質就愈高，相對於紗線本身之勻度就較好，另一可能之原因是當包繞支數較高時，其包繞紗線較細，對於芯紗受包繞而產生之變形量較低，因此以容積感應之變化就較低因而使 U%及 CV%之值相較之下較小；另一包繞撚度對 U%及 CV%之影響，由於當包繞撚數愈少時，對中心之芯紗所產生之變形量亦最少，因此其 U%及 CV%之值相較之下亦較小，故若以 UHMWPE/ Nomex 包覆紗均勻度而言，應選擇較高包繞 Nomex 短纖紗支數與較少之包繞撚度。

表1. 不同UHMWPE/Nomex包覆紗之U%

撚數 / U% / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	9.21	9.32	9.44	9.38	9.82
UHMWPE/Nomex40	8.16	8.33	8.40	8.35	9.52
UHMWPE/Nomex60	7.46	7.59	7.64	7.84	8.52

表2. 不同UHMWPE/Nomex包覆紗之CV%

撚數 / CV% / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	11.51	11.65	11.80	11.73	12.28
UHMWPE/Nomex40	9.20	10.41	10.50	10.44	11.90
UHMWPE/Nomex60	9.33	9.49	9.55	9.80	10.65

二、包繞Nomex短纖紗支數與包繞撚度對UHMWPE/ Nomex包覆紗之丹尼數之影響

包繞 Nomex 短纖紗支數與包繞撚度對 UHMWPE/ Nomex 包覆之丹尼數之影響其結果如表 3 所示，從表中之結果顯示出 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之丹尼數均隨包繞 Nomex 短纖紗支數之降低與包繞撚度之增加而增加。由於紗線丹尼數定義為 9000m 時重多少公克即為多少丹尼，亦即丹尼數愈高代表紗線愈粗，而短纖紗支數之定義：每英磅紗線長若干(x)倍數之單位長度，稱為若干(x)支，因此紗線支數值愈小即代表此紗線愈粗。換言之，針對 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之丹尼數而言，在固定 UHMWPE 之長度之下其所包繞之 Nomex 短纖紗支數愈低，即增加

UHMWPE/ Nomex 包覆紗在單位長度之重量；另當包繞撚度之增加時即在固定 UHMWPE 之長度之下其所包繞之 Nomex 短纖紗越長，因此亦增加 UHMWPE/ Nomex 包覆紗在單位長度之重量，因此 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之丹尼數亦增加，故其結果如表 3 所示；但值得討論的是：按理論而言，在相同之包繞撚度之下，其包繞在 UHMWPE 絲之 Nomex 短纖紗長度應該一樣長，而其所增加之重量差異僅是因支數之不同而已，在每一種包繞撚度下，其丹尼數值之相差值應該是一樣才對，然而從表 3 顯示數據顯示出，其各包繞撚度下之差值均不一樣，換言之有可能其所包繞支長度值雖在相同之撚度下期比值不同，因此將 UHMWPE/ Nomex 包覆紗在單位長度之重量減掉在相同長度之 UHMWPE 重量即為所包繞之 Nomex 短纖紗之重量，將此重量除以相同 UHMWPE 長度之 Nomex 短纖紗重量，此可看出 Nomex 短纖紗/UHMWPE 兩者之比值，其數據如表四所示，此很顯然在相同撚度之下具有不同之包繞長度，此可能之原因是首是原料本身重量差異所造成亦是在不同包繞支數所造成有待日後作詳細之探討。另包繞撚度增加時其所包繞之相對長度越長，故其 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之丹尼數隨所包繞之撚度之增加而增加。

表3.不同UHMWPE/Nomex包覆紗丹尼數

撚數 / 丹尼數 / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	676.50	706.20	745.10	773.40	814.90
UHMWPE/Nomex40	630.10	674.10	707.00	732.56	783.29
UHMWPE/Nomex60	492.13	505.44	519.32	536.56	542.28

表4. Nomex短纖紗/UHMWPE長度之比值

撚數 / 長度比 / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	1.70	1.87	2.09	2.25	2.48
UHMWPE/Nomex40	1.91	2.25	2.50	2.69	3.07
UHMWPE/Nomex60	1.32	1.47	1.63	1.82	1.89

三、包繞Nomex短纖紗支數與包繞撚度對UHMWPE/ Nomex包覆紗斷裂強力、比強力、斷裂伸度量與伸度之影響

中空錠子包纏紗之結構，其芯紗是無撚的，芯紗長纖維束近似平行排列，具有高強力和低伸長的特性[12]，因此以平行排列的高強力聚乙烯複合纖維長纖維束作為芯紗，以中空錠子式撚線機所製成的包繞紗成品，必能維持高強力聚乙烯複合纖維原本之高強力，達到高強力聚乙烯複合纖維包繞紗成品高比強力之目標。

一般沿一試樣之軸向施以一荷重時，此試樣會受到一張力，荷重通常表克重(grams weight)或磅重 (pounds weight)，就像力(force)的重力單位 (gravitational units)，但一般會將克重或磅重之重字省略，本實驗以克表示其紗線所能承受拉張荷重稱之斷裂荷重。將所施荷重除以試樣橫斷面積則稱為應力(stress)，但由於許多纖維及纖維結構之斷面形狀不規則，不易測出其斷面積而係以纖維之線性密度代替，而線性密度則為每單位長度之質量，其可表之為丹尼(Denier)或德士(Tex)，而此時紗線所受之拉張力量或荷重與線性密度之比值則稱為質量應力(mass tress)，而紗線在斷裂時之質量應力則稱之為強度(tenacity)或比強力(specific strength)；斷裂長度是指試樣垂直懸掛時，施以一定荷重，試樣會受某種程度之拉長，此被拉長之長度稱為伸度(elongation)，而伸度與原長度之比值則稱為應變(strain)，將應變以百分比表示，即為伸度(extension)。

表 5~8 分別是 Nomex 短纖紗支數與包繞撚度對 UHMWPE/ Nomex 包覆紗抗

張強力、比強力、伸長量及伸度(應變百分率)之影響。從表 5 中可看出無論任何包繞撚度與包繞 Nomex 短纖紗支數，UHMWPE/ Nomex 包覆紗之拉伸斷裂強力均低於 375*35=13125(g)，此意味著 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之抗張強力低於無包繞 UHMWPE 絲之理論抗張強力，因 UHMWPE 紗之抗張強力是 35g/d，由於 UHMWPE/ Nomex 包覆紗所使用之 UHMWPE 是 375 丹尼，故純 UHMWPE 絲即可承受 13125 之理論抗張強力，但表 5 中所呈現之 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之抗張強力數據均低於該理論值，另就 Nomex 短纖紗 30、40、60 支而言，因其比強力為 5.3g/d，故其理論值分別(938.93g、704.24g、469.49g)由此可知，UHMWPE 丝所提供支強力相較於所包繞之 Nomex 短纖紗要大得多，換言之 Nomex 短纖紗提供在 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之抗張強力相對於 UHMWPE 絲可說相對較小。但為何 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之抗張強力會小於 UHMWPE 之抗張強力呢？其因可能是當 UHMWPE 被 Nomex 短纖紗包繞後，由於 UHMWPE 受 Nomex 短纖紗擠壓而略為變形，此可從 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之光學實體圖(如圖二)可觀之，使其在長軸向之總拉抗張強力變小，且包繞之 Nomex 短纖紗所提供在長軸向之抗張強力無法完全彌補 UHMWPE 被 Nomex 短纖紗包繞其抗張強力之損失，另一原因是當 UHMWPE/ Nomex 包覆紗在作抗張強力試驗中，其包繞在外面之 Nomex 短纖紗會向 UHMWPE 芯絲擠壓，猶如一把刀刃一般，且其包繞外面之 Nomex 短纖紗支數愈高因愈細而產生之刀刃效應愈明顯，故其 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之抗張強力會小於 UHMWPE 之抗張強力且無論在任何撚度下，包繞之 Nomex 短纖紗支數愈高其 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之抗張強力愈低，另一個原因可能是 UHMWPE/ Nomex 包覆紗包繞之 Nomex 短纖紗支數愈低時紗線愈粗，其相對提供在長軸向之抗張荷重較大，因此從表 5 中之數據亦可觀察出抗張強力無論在任何包繞撚度之下會隨包 Nomex 短纖紗支數之增加而下降。另表 5 中之數據亦可觀察出抗張強力且在任何包繞相同之 Nomex 短纖紗支數時，其抗張強力受包繞撚度之增加而下降，此係包繞撚度愈高代表其單位長度之 UHMWPE 芯絲被包繞支 Nomex 短纖紗量愈多，因此 UHMWPE 芯絲之變形量相對增加，故 UHMWPE/ Nomex 包覆紗抗張強力隨包繞撚度資增加而降低。

表 6 中為包繞 Nomex 短纖紗支數與包繞撚度對 UHMWPE/ Nomex 包覆紗比強力之影響，從表中可看出 UHMWPE/ Nomex 包覆紗比強力隨著包繞 Nomex 短纖紗支數之增加而增加，但隨包繞撚度之增加而降低，此因 UHMWPE/ Nomex 包覆紗比強力係由抗張強力除以 UHMWPE/ Nomex 包覆紗丹尼數所得，因此 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之抗張強力雖受 Nomex 短纖紗支數之降低而增加，但

其包覆紗之丹尼數增加更大，其結果是 UHMWPE/ Nomex 包覆紗比強力隨著包繞 Nomex 短纖紗之支數增加而增加，但包繞撚度對比強力之影響並改變，其因在於如前所述，UHMWPE/ Nomex 包覆紗抗張強力隨包繞撚度資增加而降低，且因包覆紗之丹尼數亦隨包繞撚度資增加而增加，故其結果如表 6 所示 UHMWPE/ Nomex 包覆紗比強力隨包繞撚度之增加而降低。

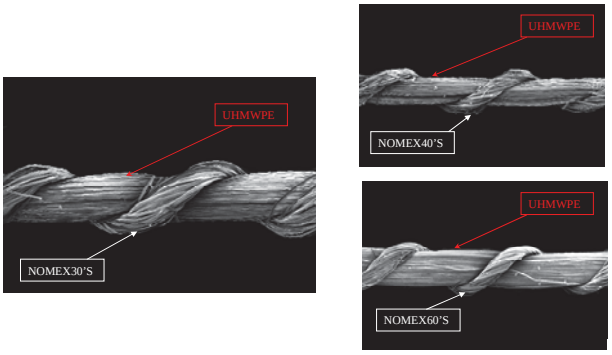
表 7、表 8 分別為 UHMWPE/ Nomex 包覆紗包繞撚度與包繞 Nomex 短纖紗支數對拉張伸長量及拉張伸度之影響。從此兩表中可看出包繞撚度與包繞 Nomex 短纖紗支數對拉張伸長量及拉張伸度影響趨勢均一樣，此主要是拉張伸度之定義為拉張伸度量除以測試紗線原長之百分率，故其趨勢均一樣。從表中 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之拉張伸度受包繞撚度與包繞 Nomex 短纖紗支數之影響並沒有一定之趨勢，但純 UHMWPE 之伸率(應變百分率)僅 3.5%，而 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之伸率則可達 10~30%，換言之，UHMWPE 經 Nomex 短纖紗包繞會受 Nomex 短纖紗擠壓而變形，此可從圖二之光學實體圖可觀之，因此提供了 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之伸長。由於 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之應變伸長受包繞支數、包繞撚度、以及包繞時之張力大小的綜合結果，難以單一因素之影響來論述其影響結果，因此其綜合影響結果顯示，拉張伸長量及拉張伸度沒有隨著單一之包繞撚度與包繞支數而有一定之影響趨勢，但伸長量及伸度大致隨包覆 Nomex 支數降低及包覆撚度增加而增加，但最大值則出現在包繞 Nomex 支數 40’s 及包覆撚度 900TPM 所產生。

表5.不同UHMWPE/Nomex包覆紗之強力

撚數 強力(g) 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	10,672	10,452	9,987	9,663	9,219
UHMWPE/Nomex40	9,667	9,498	9,231	9,064	8,646
UHMWPE/Nomex60	8,513	8,330	8,152	7,984	7,736

表6.不同UHMWPE/Nomex包覆紗之比強力

撚數 比強力(g/D) 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	15.78	14.80	13.40	12.49	11.31
UHMWPE/Nomex40	15.34	14.09	13.06	12.37	11.04
UHMWPE/Nomex60	17.30	16.50	15.71	14.90	14.27



圖二：UHMWPE/ Nomex 包覆紗之實體圖

表7. 不同UHMWPE/Nomex包覆紗之伸長量

撚數 / 伸長量(mm) / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	41.28	50.31	61.98	81.06	61.23
UHMWPE/Nomex40	37.05	51.87	66.87	86.25	72.84
UHMWPE/Nomex60	30.31	47.46	59.32	75.74	66.84

表8.不同UHMWPE/Nomex包覆紗之伸度

撚數 / 伸度(%) / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	16.51	20.12	24.79	32.42	24.49
UHMWPE/Nomex40	14.82	20.75	26.75	34.50	29.14
UHMWPE/Nomex60	12.12	23.73	23.73	30.30	26.74

四、包繞Nomex短纖紗支數與包繞撚度對UHMWPE/ Nomex包覆紗含水率與回潮率之影響

UHMWPE 原本是一種完全不吸水之高分子材料，本研究將 Nomex 短纖紗包繞於 UHMWPE 芯絲之上，可以改善其含水率與回潮率以增加 UHMWPE/ Nomex 短纖包覆紗作為防割、防熱且耐磨之舒適性手套或耐高溫之特殊環境衣著來使用。表 9 、表 10 分別是不同包繞支數與包繞撚數對 UHMWPE/ Nomex 短纖包覆紗之回潮率與含水率的影響，很明顯地此兩表之趨勢是一樣，其區分僅在於百分率之大小而已，這是因為兩者之定義差別所致。無論是回潮率或含水率均是代表一種材料吸水之能力，因 UHMWPE 絲分子鏈上沒有極性基團，故其含水率或回潮率幾乎為零，當此材料作為接觸皮膚之相關產品時，因不吸水易產生靜電反應，而使使用者容易感到不舒服。表 9 、表 10 顯示當 UHMWPE 絲包繞 Nomex 短纖紗紗時，UHMWPE/ Nomex 短纖包覆紗之回潮率與含水率會隨著包繞撚度之增加而增加，且隨包繞支數之增加而降低，這是因當包繞撚度增加係代表在相同長度之 UHMWPE 芯絲包繞較多圈之 Nomex 短纖紗，而 Nomex 短纖紗之回潮率 6.5%；換言之在相同長度之 UHMWPE 芯絲隨著包繞撚度之增加，其所包繞之 Nomex 短纖紗長度較長，又 Nomex 短纖紗紗之回潮率或含水率均遠高於 UHMWPE 芯絲，因此 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之回潮率與含水率會隨著包繞撚度之增加而增加

；同理，當包繞之 Nomex 短纖紗紗支數愈小時其 Nomex 短纖紗紗愈粗，故在單位長度中之 UHMWPE 芯絲所包繞之 Nomex 短纖紗紗量愈多，因而使 UHMWPE/ Nomex 包覆紗之回潮率與含水率會隨著包繞支數之增加而降低。利用包繞 Nomex 短纖紗可使 UHMWPE 之回潮率從零增加到 3.63%，因此可知 UHMWPE/ Nomex 包覆紗若用於戰術背心或防割防熱手套可大幅提高其穿著之舒適性。

表9.不同UHMWPE/Nomex包覆紗之含水率

撚數 / 含水率(%) / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	2.20	2.31	3.02	3.44	3.54
UHMWPE/Nomex40	2.15	2.26	2.51	3.23	3.37
UHMWPE/Nomex60	2.07	2.19	2.31	2.98	3.18

表10.不同UHMWPE/Nomex包覆紗之回潮率

撚數 / 回潮率(%) / 包繞紗	600TPM	700TPM	800TPM	900TPM	1000TPM
UHMWPE/Nomex30	2.66	2.96	3.06	3.41	3.63
UHMWPE/Nomex40	2.59	2.88	2.97	3.30	3.50
UHMWPE/Nomex60	2.47	2.69	2.79	3.17	3.42

肆、結論

針對高強力 UHMWPE 表面過於光滑，摩擦係數小，纖維間抱合力低，不易織造等缺點，乃製備高強力聚乙烯與 Nomex 短纖紗複合之包繞紗，為確保包繞及包覆紗之品質則選用德國 Saurer-HAMEL-1000 型中空錠子式撚線機進行對 UHMWPE 絲之包繞而形成 UHMWPE/ Nomex 包覆紗，透過包覆撚度及包覆 Nomex 短纖紗支數之改變探討包覆紗物性之變化。隨著包繞 Nomex 短纖紗支數之降低及包繞撚度之增加時，UHMWPE/Nomex 包覆紗之丹尼數、CV%、U%、回潮率及含水率隨之增加，抗張斷裂強力則隨包覆 Nomex 短纖紗支數及包覆撚度之降低而增加，而比強力之最大值則出現在包繞支數為 60 支、包繞撚度為 600TPM 時；至於伸長量及伸度之最大值則出現在包繞支數為 40 支、包繞撚度為 900TPM 時，而此 UHMWPE/ Nomex 包覆紗可適合於製作戰術背心或防割、防熱手套之應用。

伍、References:

1. 蕭凱仁,高強力聚乙烯纖維之介紹，台灣人纖工業會訊,17期,2001
2. 黃玲娉、梁雅卿,產業用纖維,經濟部工業局, p.65~66
3. 姚興川編譯,新式紡紗基礎學,大學圖書,1973,p.144
4. Phyllis G.Tortora,Billie J.Collier.Understanding Textiles,Merrill prentice hall press,1997,p.243
5. 俞瑞圖,康沛然編譯,花式紗線,紡織工業出版社,1987p.115
6. R Audivert. Advantages of staple-fibre yarns covered with filament.Texti1e Institue and Industry.1974.12(9):271-272
7. 姚洪興編譯 ・新型 V 行紡紗機介紹 國外紡織技術 1988.（1）：43 J.Text.Inst.,1962,531-537
8. 強伸度試驗, ASTM D 2256-97 試驗法
9. 非均勻度(U%)試驗,ASTM D1425-89試驗法
10. 蔣敏洵,紡織檢驗原理與方法，國彰出版社1988,P222-224
11. 包覆紗支數之試驗,ASTM D1907-89試驗法
12. 回潮率與含水率之試驗, ASTM D2654-89a
13. 絕乾重之定義B.S.1051-64
14. Hearle, J.W.S. and V.B. Merchant, "Interchange of position among the components of a seven-plystructure-mechanism of migration"J.Text.Inst.,1962,531-537