

科學圖書大庫

高性能纖維學

High Performance Fibers

編譯者 許永綏

徐氏基金會出版

世界圖書出版公司

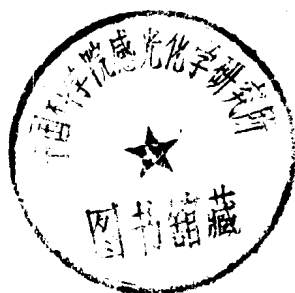
科學圖書大庫

QF32/57

高性能纖維學

High Performance Fibers

編譯者 許永綏



徐氏基金會出版
世界圖書出版公司

W13.14
B^o

高性能纤维学
许永绥编译

徐氏基金会 出版
世界图书出版公司
北京朝内大街137号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1989年12月第一版 开本：850×1168 1/32
1989年12月第一次印刷 印张：7.5

ISBN 7-5062-0487-8

定价：4.90元

经徐氏基金会允许，世界图书出版公司重印，1990。

限国内发行

序 言

筆者於二十餘年前，先後在國立台灣大學、新加坡南洋大學、東海大學，及逢甲大學任教，主講“纖維化學”，及“人造纖維學”等課程，曾出版上述二書，謬承國內外大專院校採用為課本，至為感奮。

惟人造纖維的發展，日新月異，層出不窮。而其用途也發生革命性的變化；不只是一種纖維，而是各式各樣的纖維，各具有各自的特色和用途。由於新纖維的不斷創新問世，已走出了紡織衣物的範圍，使它們的用途更為廣泛。它們可以和水泥、樹脂、塑膠、金屬、陶瓷等混合在一起而成為複合材料或混成複合材料，用於航空、太空、機械、建築、交通、農業、醫療等上。它們的產物已脫離了衣服服飾用品；而在太空梭、太空船、人造衛星、火箭、戰鬥機、飛機、汽車、建材、運動器械、醫療器材（人造血管、人造心臟等）等上。對於國計民生、國防建設，影響深巨。

筆者有鑒於此，乃與台大、東海、逢甲同學從英、美、日各種科技書刊及專著中搜集最近有關纖維資料，系統地編成本書。其中大部分多屬最近發明的多功能纖維，目前國內尚無專書刊行，故以高性能纖維學命名。

筆者學識淺陋，而科技進步，則一日千里，錯誤遺漏，在所難免，尚祈工業先進、科技專家，不吝璣珠，惠予指正，永拜雲誼。

本書原始資料及初稿，多承郭東瀛、謝松煌、柯澤豪、莊遠昭、張英彥、周文隆、蘇穩生、盧建光、唐靜雯、蔣敏洵、呂士敏諸位同學搜集協助，願誌謝忱！

許永綏 台北市

目 錄

第一章	高性能纖維的展望	1
第二章	人造纖維發展的過程及方向	21
第三章	高溫穩定性和高性能纖維	41
第四章	碳纖維	63
第五章	KEVLAR 纖維	82
第六章	PBI 纖維	95
第七章	SPECTRA 纖維	107
第八章	碳化矽晶及纖維	117
第九章	硼纖維	126
第十章	FP—氧化鋁纖維	129
第十一章	超高強度高密度聚乙烯纖維	139
第十二章	聚醚醚纖維	146
第十三章	奇安娜纖維	152
第十四章	棉狀纖維與混紡	156
第十五章	未來的纖維	196
第十六章	人造纖維的檢驗與鑑別法	222

第一章 高性能纖維的展望

高性能纖維是什麼？

高性能纖維係指對外部的作用不易產生反應，亦即具備高彈性係數、高強度、耐熱性、耐侯性、耐摩擦性、耐化學藥品性、電絕緣性的工程材料。

高性能纖維商品頗多，其中較著名者，例如 3 M 公司的鋁～硼～矽纖維，杜邦公司的氧化鋁纖維，芳香族聚醯胺纖維，阿富可 (AVCO) 公司的硼纖維，赫卡爾斯 (Hercules) 公司的碳纖維，賽綾呢絲 (Celanese) 公司的 PBI，道化學公司 (Dow Chemical Corp) 的 PBZ，美國聯合公司 (Allied Corp) 的司配杜拉，阿特絲公司 (AVTEX) 的聚乙烯～聚丙烯雙成份纖維，菲利浦公司 (Phillips) 的紗爾伐 (Sulfar) 纖維等等。

雖然從聚合反應原理製成的人造纖維，如耐龍、聚酯、聚丙烯腈已經很成功的取代了天然纖維（例如羊毛、棉），而且佔了紡織市場的大部份。但是在最近的市場上，人造纖維可以提高它的工程技術，使製造廠商獲得一種高利潤的高性能纖維。

特別值得一提的是在過去十五年之間，由於新型的人造纖維研究發展，日新月異，已發現它們的強度、密度、耐熱性、抗化學藥品性等優點，

1107332

已超越了現在的金屬和陶瓷的製造技術。

比如，碳纖維和芳香族聚醯胺纖維。它們具有一種很高的比強度，使得這兩種纖維很可能的讓製造廠商生產出比基本材料比如鋼、鋁等更質輕耐用。

硼纖維、碳化矽纖維，及氧化鋁纖維則具有一種共同類似的用途。其他用於織物的纖維或非織物的纖維或許可提供一種改良的過濾性能。因為它們抗化學藥品性是根由變成份聚乙烯和聚丙烯纖維的特性而來的。

碳化矽金屬氧化物製成的新型 P B Z 纖維，含有第三基團很特別性質，所以能耐高溫。

這些高性能纖維應用在織物、非織物和複合材料上，日新月異，層出不窮。而製造廠商在未來的利益上更將他們的賭注大量的放在推陳出新，精益求精的研究發展中。

然而，由美國商業部所提供的資料，指出美國目前常用的工業纖維如芳香族聚醯胺纖維、碳纖維的需求量遠超過目前的產量。特別值得一提的，在一九八五年由美國金屬商業部門所提供的研究報告，一九八四年估計碳纖維需求為三百九十萬磅，而實際需求量則超過一千萬磅。杜邦公司芳香族聚醯胺纖維是全球主要的供應者。她生產的克伏勒纖維（Kevlar）現已擴充設備，增加產量。硼纖維由於價昂，僅有少量生產用在複合材料上。在製造硼纖維複合材料的技術，則只有阿富可公司一家才擁有。

高性能纖維最重要的缺點，就是價格非常昂貴，比如硼纖維每磅售價需美金四十元，因此只能用於特殊需要的物件。

高性能纖維最初銷售時，由於成本偏高，市場太小，用途又受到限制，它與美國一般紡織纖維每年百億美元的廣大市場比較，相形之下，這些特殊纖維的銷售量就顯得微不足道。然而這些特殊纖維的市場發展，多趨向於軍用太空高性能設備需要上，價格方面，不列為第一考慮要件。因此，這些特殊纖維能在纖維工業上繼續發展。

在工業用途上，這些新發展的高性能纖維，主要是替代複合材料中的金屬成份。一九八六年「十二月號飛行船」(Voyager's December Flight)能在不再補充燃料之下環繞地球，安全成功，因為它採用這種新型纖維的緣故。赫卡爾斯公司提供碳纖維複合材料，而杜邦公司則提供另一種芳基聚醯胺纖維的複合材料，結果製成一種機動的輕型飛機，不但飛行時增加時速，而且節省大量燃料。製造廠商現在正供應軍方之需求，在未來的市場供應量，勢必增加，而利潤亦隨着增高。

從聚丙烯腈製造碳纖維

在許多新型纖維中，碳纖維是最具競爭的一種。如果碳纖維製造廠商要真正獲利，則目前生產量要比過去十五年的總生產量還要大量增加。目前售價每磅美金二十至三十元之間。在研究生產設備發展上，除了要奮競爭環境外，業者所投的資金、成本和利潤均要加以考慮。赫卡爾斯公司是美國最大碳纖維製造商，據該公司一九八五年年報報告，碳纖維以及碳纖維和樹脂處理的中間產品，該年銷售量高達六千四百萬美元。

當部份製造廠商正從事研究這種新型纖維之際，赫卡爾斯公司總裁亞歷山打栗柯(Alexander F. Giacco)已預測到碳纖維將有大量需求市場。新式複合材料結構上，大部份都需用碳纖維與改質樹脂配合製成，藉以增加樹脂的強度。在一九九〇年代，碳纖維市場需求量將超過三十億美元(\$ 3 Billion)。其中百分之五十，則用於商業及非軍事的用途。

軍用市場將提供生產技術，而且很有可能擴展更進一步用途。在飛機結構上碳纖維複合材料可減少飛機機身重量高達百分之三十至百分之四十。因此，不僅節省燃料，而且可增加總載重量。在其他市場方面赫卡爾斯公司對船舶上採用碳纖維複合材料亦發生興趣。據研究結果，除了使船身重量減輕，增加載重量之外，還可減低雷達對船舶的偵察面積，並改進船舶

的穩定度。

亞莫可公司主要產品亦為碳纖維，它的用途大部份用於太空船、太空梭或軍用飛機上。目前飛機機身有百分之四十是使用碳纖維複合材料。它的另一個目標是希望獲得更多的商業航空製造廠商採用碳纖維複合材料來替代金屬機身。在軍用飛機上已有明顯的功效，在商用飛機方面經過一段頗長時間的設計和研究，不久的將來，諒能獲得優異的績效。

遠在一九五〇年代，美國杜邦公司已用模隆加熱製造這種耐熱性碳纖維。聚丙烯腈纖維耐熱性較高，雖加熱也不熔融，惟纖維會軟化。如果纖維在不活性的氣體中加熱則所得之碳纖維性質不佳，故必須在空氣中預熱，使纖維起架橋（交鏈）作用而不軟化，然後再將纖維置於不活性氣體中加熱，則可製得特性良好的碳纖維。

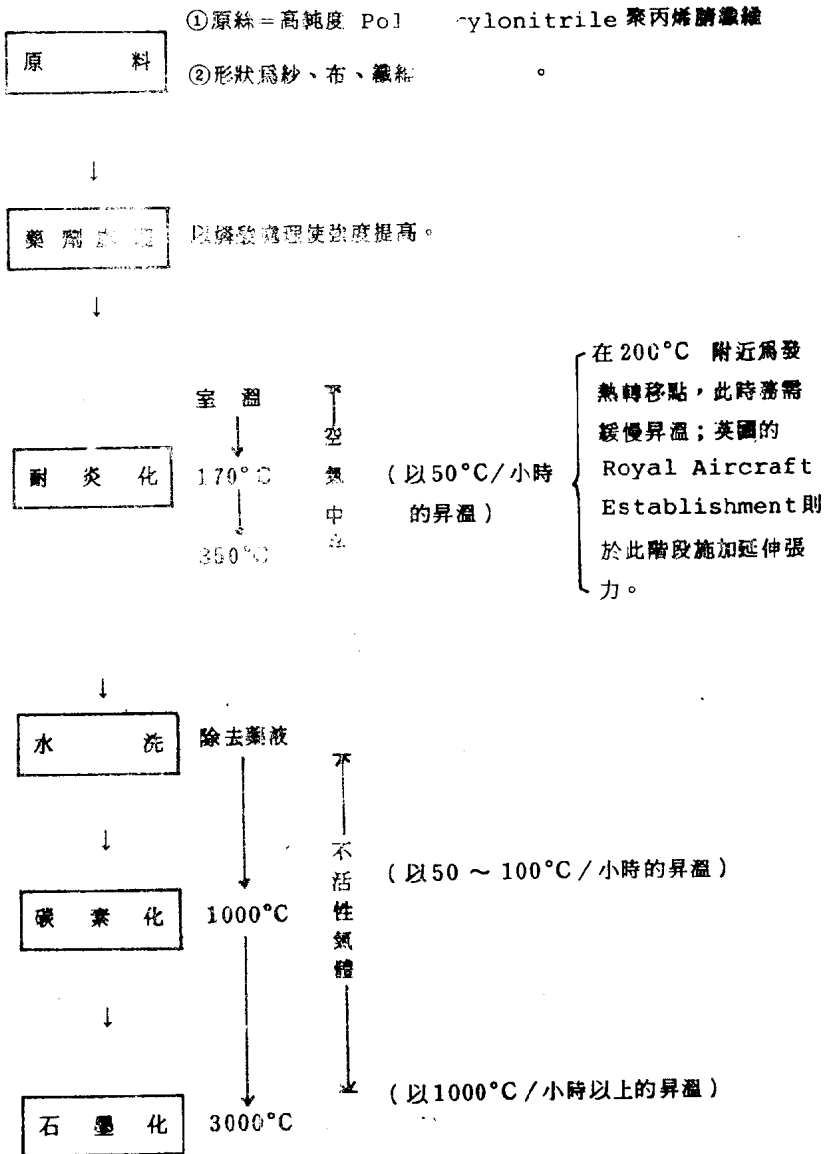
為使讀者易於明瞭起見，茲將從聚丙烯腈纖維製造碳素纖維流程呈示如圖一：

赫卡爾斯和亞莫可公司就是採用這種方法生產碳纖維，每磅售價美金二十五元，比鋁絲高出二十倍。然而在最終用途，將它製成複合材料時，僅就減少重量一項而言還是有利的，尤其在軍用飛機上。這種碳纖維銷售量一直持續每年百分之四十五的成長率。

此外，柯道絲（Courtaulds）公司對於碳纖維投資也很感興趣，最近以高價標得英國華叟吉爾～哈威公司（Fathergill & Harvey）碳纖維的編織及複合材料的製造權。

柯道絲公司和它的股東德克士特（Dexter）聲稱，在一九九〇年代將獲得相當大的利潤，並可收回投資總額百分之二十。在這些利潤當中，碳纖維可能成為機械工業成本效率最好的替代品，如引擎、火車和自動推進的種種機件等。

碳纖維和複合材料在國際上的競爭者當中，柯道絲公司對於碳纖維較感興趣，而西德的BASF公司則對於複合材料結構的研究，較為優先。在



圖一 從聚丙烯腈製造碳纖維流程

一九八五年西德的化學公司已購得美國賽蘭絲公司的碳纖維及高級複合材料的製造權。最近BASF公司又與日本碳纖維製造業者創立一家名叫Toho-Badische Structural Materials 聯合公司。

根據BASF結構物料公司副主席胡士曼（George Hushman）說，碳纖維結構材料，目前正開始應用於商用飛機。然而只有具有自信大膽的公司將碳纖維複合材料用於飛機機翼和機身骨架上。他深信這方面的發展還需要一段頗長的時間，才能完全成功。

然而BASF公司每年仍對碳纖維的研究發展投下相當大的資金。在美國卡羅林那州的查羅特鎮成立一個新研究中心，並在佛吉尼亞州的威廉斯堡裝設一套新式的聚丙烯腈生產設備，採用托荷（TOHO）的專利製造技術來生產高純度聚丙烯腈，為製造碳纖維的基本原料。

從瀝青製造碳纖維

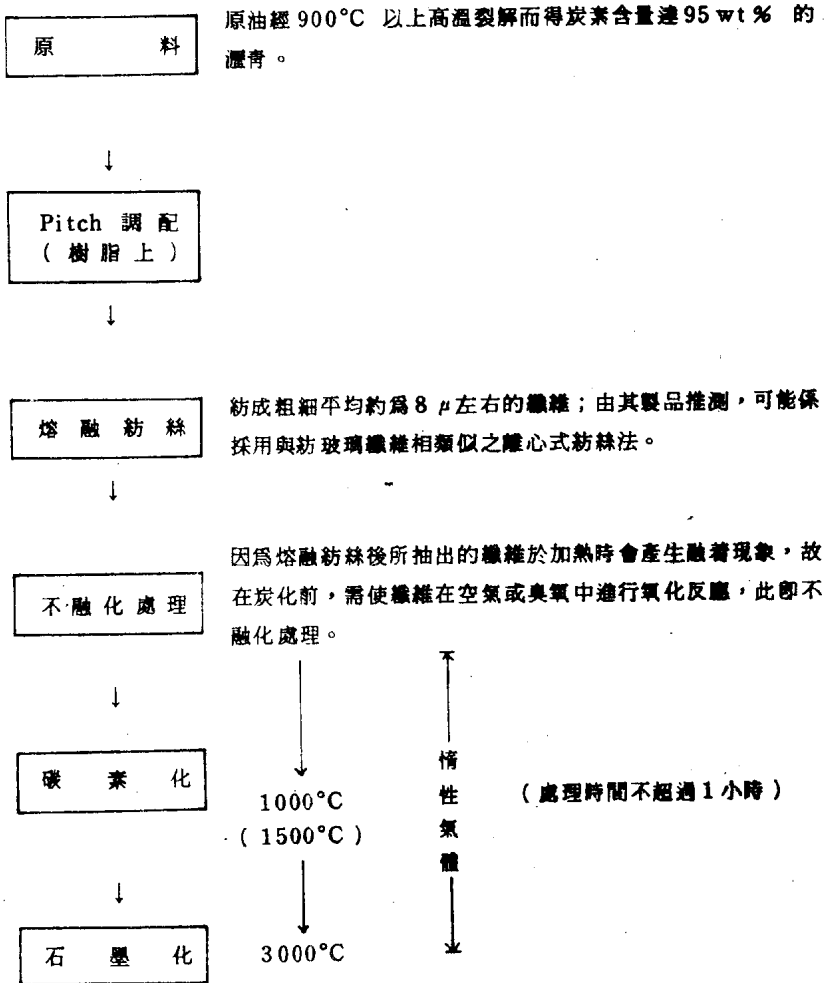
原油經攝氏九百度以上的高溫提煉後所剩餘的殘渣中，含有百分之九十五（重量）的碳質，以電解法除去其中的硫酸，再經水洗後，可得純度良好的瀝青（Pitch）。然後將瀝青調配，熔融紡絲後，纖維再經過碳化工程，而製得碳化率達百分之八十五到百分之九十五（重量）的碳纖維。

亞希蘭（Ashland）公司生產普通工業用碳纖維，則採用價格較廉的瀝青為原料。但是這種產品的強度、係數，比由純聚丙烯腈製得者要來得低，只適用於不需要太高強度和高係數的工業製品。在過去十年不斷的研究發展，該公司年產量已達二十萬到三十萬磅。纖維單價每磅美金九元五角。

亞希蘭德公司生產的碳纖維銷售在市場上者，多用作利車墊以代替石棉利車墊。如用在複合材料構造上的導電性及熱導性，更是它的優點。例如，碳纖維和芳香聚醯胺複合材料做成的防禦物則具有抗高溫的絕緣性能

。該公司總裁赫丁格 (Hettinger) 說，該公司生產的碳纖維的強度比鋼絲約大五倍，但它在一般工業使用上，還在幼稚階段。

茲將由瀝青製造碳纖維的流程呈示如圖二：

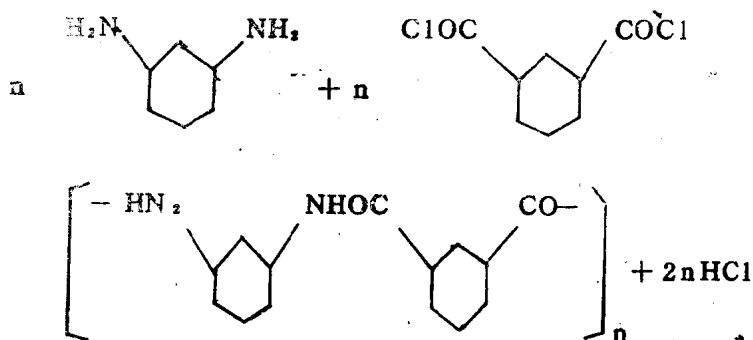


圖二 從瀝青 (Pitch) 系製造炭素纖維流程圖

娜美絲 (Nomex)

一九六一年杜邦公司已生產一種耐高溫（高達攝氏四百度），耐化學藥品的芳香族聚醯胺纖維，命名娜美絲。它的主要用途為防火和抗熱：(1) 供防火目的的用途：例如太空衣、嬰兒睡衣、賽車選手衣服、製造人員工作服等；(2) 供抗高溫目的的用途：例如，濾布、烘乾機襯氈、輸送帶等。如將娜美絲浸漬在石碳酸樹脂 (Phenolic resin) 中，則生成蜂巢型結構的複合材料，可用為飛機上的地板，因為它的比重很低，且具有耐火及耐化學藥品的性能。

據工業局資料處報告，娜美絲短纖維單價每磅美金八元。它的製造方法，一般科技專家咸信係由「間—一次苯基二胺」(m-Phenylene diamine) 與「異苯二酸」(Isophthalic acid) 在低溫下起縮合聚合反應而生成的聚合體，經紡絲、洗滌、烘乾而成娜美絲。它的反應式如下：



在此使用含氯二元酸的目的，係為促進聚合反應能加速完成。

克夫拉 (Kevlar)

克夫拉纖維係由杜邦公司在一九七二年發展出來，但是一直到一九八

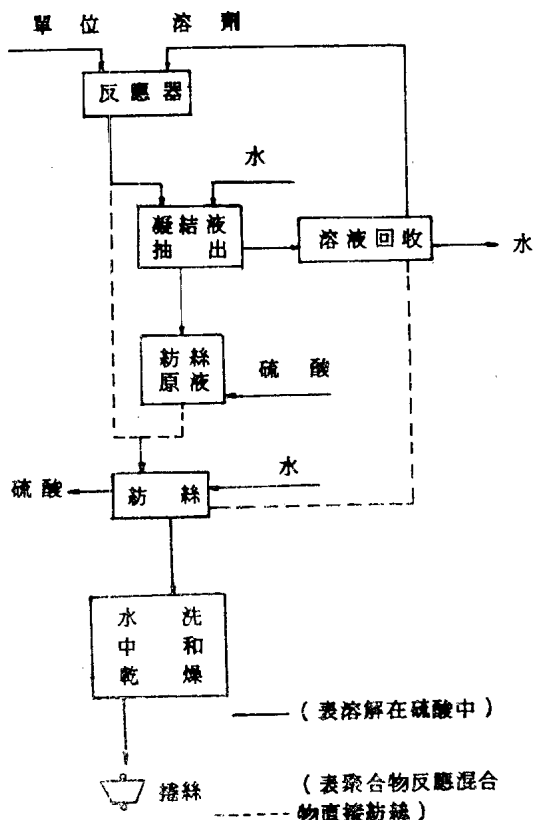
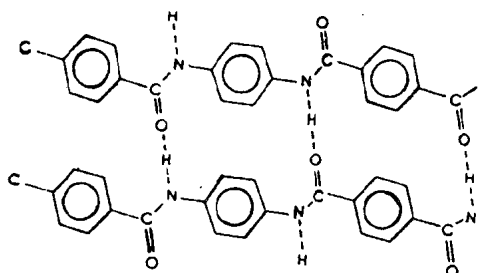
一年才有商品問世。它具有較高的抗張強度、優異的韌性、耐疲勞性、耐磨擦性、電絕緣性等等，因此它的應用範圍，非常廣泛。在工業用途方面如強化汽車輪胎、增強動力輸送帶、高強度繩索及壓力容器等。在軍事用途方面，如防彈衣、防彈頭盔、降落傘、裝甲板等。在航空太空方面，如直昇機結構材料、商用飛機內部裝璜材料、機身、機翼、火箭引擎外殼，及壓力容器等。在運動器材方面：網球拍、高爾夫球桿、弓箭、釣魚竿、滑雪板等。在船舶方面：獨木舟、遊艇及帆船之結構材料等等。

克夫拉研究中心總經理胡威特氏 (Warren D. Hewett) 說，克夫拉纖維可使設計者能在一小部份面積放置許多電子線路，且能有效的阻止銅導體及環氧樹脂熱塑性擴散，它比玻璃纖維更堅固質輕。因此，它可替代玻璃纖維，廣泛應用在太空基地和飛機領域。尤其以太空通信衛星的國際商業衛星通信機構的拋物線天線最為馳名。它最初的用途是用於軍用飛機、火箭、飛彈等。民航機的 (B-767) 一架使用一千二百零九磅，則可減輕五四八磅。(L-1011) 飛機使用二五〇〇磅，則可減輕八〇五磅的重量。

到目前為止杜邦公司聲稱，在克夫拉纖維研究發展上已投下資金六、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇美元 (\$ 600 million)。它的用途日新月異，層出不窮。尤其利用碳纖維的擠壓強度和克夫拉的高抗張強度所製得的混成複合材料，性能非常優異。至於「克夫拉-四九」的硬度則比碳纖維增加百分之四十。

它的製造方法仍被保密，尚未公開。惟所用原料為「對——次苯基二胺 (P-Phenylene diamine) 和「對——苯酐酰氯 (terephthaloyl Chloride) 在六甲基磷酰溶劑 (Hexamethyl Phosphoramide Solvent) 起聚合反應，生成的聚合體經過抽絲步驟而製得。它的化學結構如下式，它的製造流程如圖三：

(克夫拉纖維) 化學結構



圖三 錦美絲 aramid 纖維製造流程簡圖

PBI纖維

賽蘭尼絲公司在一九八三年生產商業用的聚苯并咪唑 (Polybenzimidazole 簡稱 PBI) 纖維，嘗試打進娜美絲和克夫拉已佔有的廣大市場。最初用於太空船上太空人的衣着上。據稱它具有耐化學藥品，抗各種溶劑的性質，在空氣中也不燃燒。這種纖維可紡成織物，用於飛機上的座椅防火板及消防人員的衣服。

據 PBI 纖維公司主任莫菲特 (Robert T. Moffett) 說，這種產品最好的用途，可將 PBI 和克夫拉兩者混紡製成一種最具經濟價值的商品。莫菲特又說，PBI 可代替石棉做成抗高溫的手套、工業用輸送帶、競賽人員的襯服、電子馬達線圈的墊襯，以及複合材料的結構物。然而它的售價每磅約美金四十元。由於 PBI 纖維製造商對於原料及專門技術付出的成本每磅超過三十美元，雖然預定每年產量一百萬磅，然而實際產量僅二十五萬磅。

PBI 纖維是將四氨基雙苯 (tetra-aminobiphenyl) 和二苯異酞酸鹽發生聚合反應，製得的聚合體，再用二甲醯胺為溶劑 (dimethyl acetamide)，由乾式紡絲過程而製成。這些原料價值是很昂貴的。

絲配杜拉纖維 (Spectra)

絲配杜拉纖維是美國聯合公司於一九八三年發展出的產品。它是採用高強度、高係數的聚乙烯、聚丙烯和兩者的中間體，經加成聚合反應，生成的共聚物，再紡成高性能纖維。

據該公司經理羅士威 (Ron E. Rothwell) 說，絲配杜拉在某些市場上能與芳香族纖維競爭。由於強度很高，比重很低，可用作船舶上的繩索，比芳香族纖維具有更好的耐磨性，以及彎曲疲勞性。能廣泛用作航海上的帆布。在經常使用之下，由於它的高強度，不蠕變，不易斷裂，如製成

復材，可使船身經久耐用。在自動控制結構用途上，能與玻璃纖維及其他纖維結合。它可做熱塑性樹脂、熱固性樹脂、彈性體或混凝土的補強材料。這些補強材料通常用來做耐壓槽、水管、動力輸送帶、運動器材和汽車的裝備以及建築結構等等。

它的缺點是熔點頗低，在攝氏一百四十七度，即變為液態，不適於普通衣着和耐高溫工程材料之用。而芳香族纖維或 PBI 纖維則能用為高溫材料及複合材料。

絲配杜拉有兩種產品：Spectra—九〇〇型者，售價每磅美金二十二元。Spectra—一〇〇〇型者，每磅美金二十八元。

PBZ及聚醯亞胺纖維

由道化學公司發展出的 PBZ 及聚醯亞胺 (Polyimide) 纖維，據稱可與芳香族聚醯胺纖維在市場上相競爭。從前歐普章 (Upjohn) 公司生產聚醯亞胺—二〇八〇型纖維，它的聚合體業務已轉移給道化學公司。這種纖維能抵抗攝氏四百度高溫，能耐硫酸的侵蝕。據道化學公司工程師杜隆卡 (Goe A. Trombka) 說，聚醯亞胺—二〇八〇型纖維的市場很小，於是道化學公司就將它的液態原料賣給澳洲的林勝 (Lenzing) 公司。該公司生產的纖維和織物在市場上可與杜邦公司的娜美絲匹敵。用做太空梭上的絕緣板。

聚醯亞胺—二〇八〇型纖維是從二苯甲酮四羧酸二酐 (Benzophenone tetracarboxylic acid dihydride)，甲苯二異氰酸鹽 (Toluene diisocyanate) 及 4,4'-二苯甲烷，二異氰酸鹽 (4,4'-diphenylmethane diisocyanate) 合成的共聚合體製成的纖維。

根據道化學公司研究員麥迪生 (Norman L. Madison) 說，PBZ 纖維尚在開發階段，目前產量不多，除生產聚合物外，也將紡成細絲用的