

紡織纖維-機能或功能性纖維

機能性纖維主要是指對能量、質量、資訊具備儲存、傳遞和轉化能力，對生物、化學、聲、光、電及磁具有特殊機能的纖維，包括高效過濾、離子交換、選擇性吸附和分離、反滲透、超濾、微濾、透析、血漿分離、吸油、水溶、導光、導電、變色、發光和各種醫學功能的纖維，還包括提供舒適性、保健性、安全性等方面的特殊機能及適合在特殊條件下應用的纖維。

機能性纖維主要是在 20 世紀 60 年代開始發展起來的，它們的應用範圍極其廣泛，涉及石油化工、海水綜合利用、生物醫學工程、農業、輕工、電子、通信及環保等領域。纖維及其製品相當繁雜，纖維的製取方法也各不相同。若對機能性纖維進行科學的劃分或歸類尚有一定的困難，一般多根據其特殊用途進行分類。

1. 健康衛士-抗菌纖維 (抗微生物纖維)

抗菌纖維又稱防菌纖維、抗菌除臭纖維、抑菌纖維，它是一種能抑制細菌等微生物繁殖生長的纖維，可消除因細菌繁殖引起的異味，減緩纖維腐爛的速度，防止某些疾病的傳播。

隨著科學技術的飛速發展、人們生活水準的不斷提高和保健意識的增強，人們對自身的健康越來越關注；與此同時，隨著現代社會環境污染加劇、人口流動頻繁，造成各種病毒、細菌及微生物交叉傳播、感染的機會增多。紡織品與人體皮膚接觸後，大量細菌借助人體分泌物繁殖和生長，而這樣細菌可以在一定的溫濕度條件下，快速繁殖，如一個單個細胞在 8h 內可發生 16 萬次分裂。人體皮膚及衣服都是細菌滋生繁衍的場所，對人體來說，由於細菌的作用，不僅會產生臭味，而且會引起皮膚搔癢和病變。因而研製開發抗菌、防蟻紡織品勢在必行。抗菌紡織品大致有以下三類：

- (1) 本身帶有抗菌功能的纖維，如漢麻 (大麻)、羅布麻、甲殼素纖維、竹纖維及金屬纖維等；
- (2) 用抗菌劑進行抗菌整理的紡織品，此法加工簡便，但耐洗性略差；
- (3) 在化纖紡絲時將抗菌劑加入到纖維中而製成的抗菌纖維，這類纖維抗菌、耐洗性好，易於紡織和印染加工。

抗菌劑的種類很多，常用的有無機抗菌劑及有機抗菌劑。無機抗菌劑主要有銀、銅、鋅離子及金屬氧化物 (如 ZnO 、 TiO_2 等)。有機抗菌劑品種較多，主要有：有機矽季胺鹽、芳族鹵化物、烷基胺系、酚醚系等。對於本身具有抗菌性質的材料，可直接加工成纖維。採用抗菌劑對纖維進行浸漬或塗覆的方法，把抗菌劑固定在纖維上或將抗菌劑採用共聚或共混的分法添加到高聚物中，當前多採用將無機抗菌劑加入到合

成纖維中的方法，抗菌劑多為超微細粉體，甚至是奈米級粉體。乾法紡絲多製成抗菌母粒，再將母粒與高聚物切片按一定比例混合紡絲。濕法紡絲時將抗菌劑直接加入到紡絲原液中生產出抗菌纖維。也可以常規高聚物芯，以加入抗菌劑的原料為皮，這樣製得的抗菌纖維抗菌劑用量少，抗菌藥對纖維的性能影響也較小。另外，具有離子交換基團的纖維可通過離子交換反應而使纖維的表面上置換上一層具有抗菌性的離子（一般為銀離子、銀離子與銅離子或銀離子與鋅離子的混合物），由於金屬離子與纖維的離子交換基團形成了離子鍵，因此具有持久的抗菌效果。抗菌纖維的用途很廣泛，主要有以下幾個方面：

- (1) 醫療用：無菌手術衣、手術帽、無菌病房床上用品、新生兒室用品，特別是病房用品、病人服、無菌工作服、紗布、繃帶、手術用品、口罩、尿墊等。
- (2) 服裝服飾用：內衣褲、運動衫褲、童裝、睡衣、胸罩、胸衣、鞋墊、鞋襪、襪及軍服等。
- (3) 藥用品：注射液、片劑等藥品製造，以及醫療器具製造等。
- (4) 食品用：肉食加工、乳製品加工等。
- (5) 農牧業用：無菌栽培、農藥、酵母製劑等。
- (6) 室內裝飾用：窗簾、地毯、椅罩、沙發布、臺布、壁布、屏風等。
- (7) 日用雜品：寢具、被褥、毛巾、手帕、手套、浴巾、抹布、布玩具等。

2. 不怕陽光輻射-防紫外線纖維

防紫外線纖維是指本身具有抗紫外線破壞能力的纖維或含有抗紫外線添加劑的纖維。如 PAN 本身為優良的抗紫外線纖維；而 Nylon 本身抗紫外線的能力較差，因此需要在製造 Nylon 的聚合物中加入少量的添加劑（如錳鹽和次磷酸、硼酸錳、矽酸鋁及錳鹽-銻鹽混合物等），即能製得抗紫外線 Nylon。抗紫外線 PET 是採用聚酯中摻入陶瓷紫外線遮擋劑的方法製成。對棉纖維而言，可採用浸漬有機系（如水楊酸系、二苯甲酮系、苯並三唑系、氰基丙烯酸酯系等）紫外線吸收劑來製取。

紫外線對人類的影響是有利與不利的同時存在，他助於人體內維生素 D 的合成，促進鈣的吸收，可預防軟骨病，促進兒童身高增加等。同時，紫外線還具有滅菌、消毒的功效和光合作用，對人體有利，如日光浴被認為是人們的一種保健療法。但是，過度的紫外線照射不僅對地球環境產生影響，而且對人體、對皮膚會產生很大的傷害作用，易引起皮炎、紅斑、色素沉著，加速人體老化，使人體的免疫功能下降，甚至致癌，還可導致白內障患者人數增多，同時還會阻礙植物和海洋中動物的生長發育。紫外線（UV）是波長為 0.01~0.38 μm 的輻射總稱，其中 0.32~0.4 μm 的紫外線，稱為 UVA，0.28~0.32 μm 的紫外線稱為 UVB，0.01~0.28 μm 的紫外線稱為 UVC，

如圖 1 所示。UVA 波能透過霧、玻璃，對皮膚的穿透力強，穿透皮膚的真皮層後會加快肌肉的老化，使肌肉逐漸失去彈性，並使皮膚鬆弛、發黑、出現皺紋，是引起斑點和雀斑的主要原因。UVB 波對皮膚表皮層起作用，易引起急性炎症，使皮膚出現灼傷，不僅會引起皮膚老化，而且還會轉變成為皮膚癌。UVC 波是能殺死生物的最可怕的有害電磁波，幸運的是它能被臭氧層吸收不會照射到地面，這就是近年來人們疾呼保護大氣臭氧層的意義所在。有資料表明，臭氧層每減少 1%，紫外線輻射強度會增加 2%，人類患皮膚癌的可能性會提高 3%。其中，UVB 的增加對人體健康的影響較大。

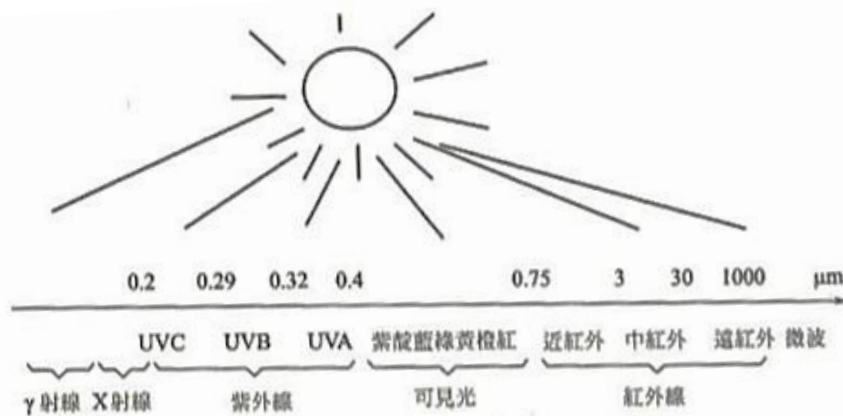


圖 1 太陽發出的電磁波的波段

抗紫外線纖維經紡織加工後主要用於製作襯衫、運動服、制服、工作服、襪子、帽子、窗簾以及遮陽傘等。其紡織品還有阻擋熱的作用，用作夏季服裝時更感涼爽。

3. 可促進微循環-遠紅外纖維

遠紅外纖維又稱遠紅外發射纖維、遠紅外吸收纖維。由能吸收和發射遠紅外線的陶瓷粉體和成纖高聚物組成的纖維。在太陽光線的光譜中，位於紅色光外側的熱線稱為紅外線，其溫度要比紅色光高。根據紅外線的波長，可將紅外線分為近紅外線（波長 0.76~1.5 μm）、中紅外線（波長 1.5~5.6 μm）和遠紅外線（波長 5.6~1000 μm）。有機物在遠紅外線波長範圍內是其良好的吸收體，人體含有機物在特定波長下表現有吸熱的特性。人體吸收紅外線熱後會促進細胞活化，起著擴張微細血管、加速血液循環和組織共鳴共振運動的作用，可促進酸的產生和造就皮下深層熱反應提高溫度，最終在新陳代謝作用下通過汗液而排出人體的廢料、不需要的積蓄物和有害重金屬。任何物體在一定溫度下都能發射紅外線，而遠紅外纖維一般是指比原來的纖維的遠紅外發射率大 10%以上。遠紅外纖維的紡製方法一般是將有較高遠紅外發射率的陶瓷微粉加入高分子聚合物（一般採用聚酯類、聚醯胺類、聚丙烯類和黏液纖維等）

中，再經紡絲加工製成纖維。很多礦物都有較高的紅外發射率，如鋁、鎂、矽、鈣、鉻、鎳、鐵、鋅等氧化物及多類碳化物、氮化物、氟化物等。很多沙、石、陶土都有較高的遠紅外發射率，這在人們的日常生活中經常見到，像砂鍋燉肉和沙子炒花生、栗子就特別香甜美味，桑拿浴用石頭不僅產生水蒸氣，而且其發出的遠紅外線對人體有保健作用。這類遠紅外陶瓷材料選用的條件是遠紅外線發射率，價格低、易加工，對人體無毒、無放射性危害，其粒度直徑最好在 2~3 μm 以下，平均粒度在 1 μm 左右。

遠紅外纖維的用途十分廣泛，主要有以下幾個方面：

- (1) 醫療輔助用品：用作衛生敷料，可促進傷口癒合，做成護肘、護腕、護腰、護膝、護肩等可減輕關節炎的疼痛、消除疲勞。
- (2) 睡眠系統：用作床單、枕巾、枕套、枕芯、被褥芯、被褥套、睡衣褲等可促進睡眠，提高睡眠質量。
- (3) 保健用品：可用作內衣褲、背心、鞋、襪、帽、圍巾等，可促進人體微循環、提高人體免疫力、強身健體。
- (4) 冬季禦寒用品：如保溫內衣褲、棉鞋、棉襪、室外帳篷等。
- (5) 裝飾用品：如窗簾、地毯等可提高室內溫度、抗菌除臭、防蟻。但對於用遠紅外纖維製作的保健紡織品，在使用中如出現異常不適的現象及有出血性疾病的患者須慎用。

4. 在烈火中不易燃燒-阻燃纖維

自古以來，由於紡織品的易燃而引起的火災成千上萬，許多生命財產付之一炬。據報導，在城鄉發生的火災事故中，由於易燃性的紡織品如地毯、窗簾、床上用品等直接或間接引發的火災事故占火災總數的 40% 以上，造成的死亡人數占 61% 左右。因此，世界上一些已開發國家自 20 世紀 60 年代起就相繼對紡織品的阻燃性提出了要求，並廣泛地制訂了有關的法令法規。這便引起人們對於“避火神衣”的嚮往，在中國的神話傳說中就經常出現這一類的描寫。如在古典小說《西遊記》中，唐僧身上的袈裟就是一件烈火不侵的寶衣。時至今日，神話已經變成了現實。五光十色、千姿百態的阻燃紡織品猶如雨後春筍般地出現在紡織品的百花園中。從太空飛船上耐數千攝氏度高溫的紡織品，到各式各樣的阻燃服裝、阻燃裝飾用品、阻燃地毯、阻燃人造毛皮和多種軍用防火紡織品等，真可謂五花八門，應有盡有。

- (1) 纖維燃燒的原理：阻燃纖維又稱難燃纖維、耐燃纖維、防燃纖維。所謂阻燃是指降低材料在火焰中的可燃性，減緩火焰的蔓延速度，使它在離開火焰後能很快的

自熄，不再陰燃。從纖維燃燒的機理上看，纖維的燃燒實質上是纖維受熱裂解出可燃性物質並與氧氣激烈反應的過程。燃燒產生的大量熱能又使纖維進一步裂解。因此，燃燒就是纖維、熱、氧氣三個要素構成的循環過程，如圖 2 所示。阻燃的基本原理就是要在熱分解過程中減少可燃氣體的生成，從而停止燃燒過程的循環和發展。

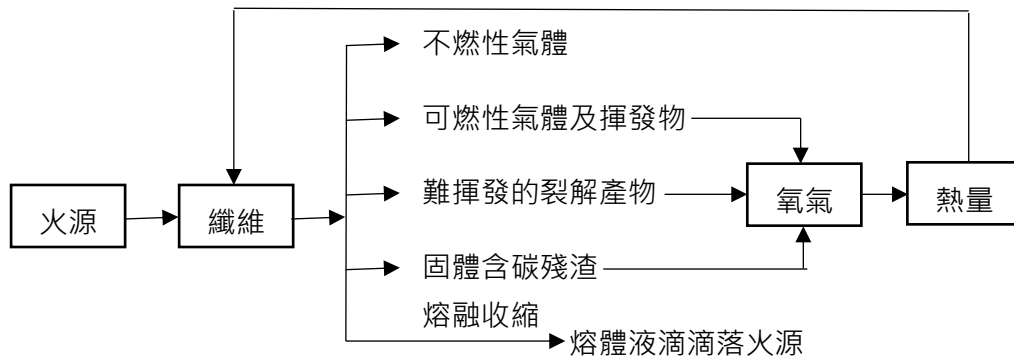


圖 2 燃燒的循環過程示意圖

(2) 阻止纖維燃燒的基本途徑：一般而言，阻止纖維燃燒的基本途徑有以下幾種：

- ①使阻燃劑分解出 HCl、HBr、CO₂ 和 N₂ 等不燃性氣體，稀釋了纖維分解產出的可燃性氣體，起到阻燃作用。
- ②在阻燃纖維中的阻燃物質熔融，形成不透性的膜將可燃物與氧氣分離開。
- ③將引起燃燒的活性自由基變成非活性的自由基繼而轉化為不燃性氣體。
- ④阻燃劑發生脫水、相變、分解等反應，以減少形成可燃性氣體，而且有一些反應是吸熱反應，可降低聚合物表面和燃燒區域的溫度，延緩聚合物的熱裂解反應。
- ⑤聚合物發生熔融、收縮，液滴滴落火源，阻礙燃燒。

(3) 賦予纖維阻燃性能的方法：在化纖生產中，一般採用以下一些方法來賦予纖維的阻燃性能。

- ①提高成纖高聚物的熱穩定性。可採用具有阻燃性能有成纖高聚物製取纖維，或者對纖維進行交聯、氧化、環化、脫氫炭化等方法改變成纖高聚物及其纖維的分子組成結構，以達到提高纖維的熱穩定性，從而抑制纖維受熱時產生可燃性氣體，並增加炭化程度，使纖維不易著火燃燒。利用這種方法生產的阻燃纖維品種主要有 PVC、芳綸 1313、芳綸 1414、聚醯亞胺纖維、聚苯並咪唑纖維、聚芳砜醯胺纖維、酚醛纖維、聚丙烯腈氧化纖維、聚對苯二甲醯雙脒脲金屬螯

合纖維、碳纖維等。

②將阻燃劑與成纖高聚物共混紡絲。在各種化合物中，含有硼、鋁、氮、磷、溴、氯、硫、銻、鉍等元素的一些化合物都具有阻燃作用，其中以磷、溴、氯這三種元素的阻燃效果最好。採手混入一定量的添加型阻燃劑，並使阻燃劑與高聚物混和均勻後再進行紡絲。此法較簡單，對纖維原有的性能影響很小，而且阻燃效果持久性好，阻燃聚丙烯纖維和阻燃黏液纖維等品種常採用此法來生產。

③共聚及嵌段共聚。在成纖高聚物合成過程中，將含有磷、鹵素、硫等阻燃元素的化合物（反應型阻燃劑）作為共聚單體引入到大分子鏈中，然後再把這種具有阻燃性的成纖高聚物採用熔紡法或乾—濕法紡製成阻燃纖維。阻燃改性 PET 和阻燃改性 PAN 等一般採用此法來製取。也有將需改性的高聚物單體與阻燃性單體的預聚物一起進行嵌段共聚，如採用此法將聚乙烯醇和氯乙烯進行嵌段共聚來製取阻燃纖維。還可用經共聚或嵌段共聚而得到的成纖高聚物再與另一種成纖高聚物以一定比例共混後紡絲，同樣可紡製阻燃性纖維。

④接枝改性。一般採用放射線、高能電子束或化學引發劑，使纖維（或織物）與乙烯基型的阻燃單體進行接枝共聚而獲得阻燃性，其阻燃效果與接枝程度有關。由接枝共聚製得的阻燃纖維，其強度基本保持不變，但成本較高，影響到廣泛使用。

⑤複合紡絲法。採用皮芯型複合紡絲法是一種較為理想的製取阻燃纖維的方法。一般以阻燃性的高聚物分為芯部，普通的高聚物分為皮層。採用此法製取的阻燃纖維不僅能較好的保持了纖維原有的外觀與性能，而且纖維的阻燃效果和持久性較好。

(4) 阻燃纖維的用途：目前，世上開發的阻燃纖維品種較多，其性能和用途也不盡相同。

①阻燃黏液纖維具有良好的手感和耐洗滌性能，適宜於製作內衣、睡衣、床上用品、工業防護服、工作服、椅套、電熱毯外包布等。

②阻燃聚酯纖維具有阻燃性能好、色澤鮮豔、挺刮耐穿、易洗快乾等特點，適宜於製作老弱病殘者和兒童的服裝、軍裝、睡袋、工作服、床上用品以及傢俱布、帷幔、窗簾、汽車沙發布和地毯等裝飾用布。

③阻燃 PAN 纖維具有耐日曬牢度好、手感柔軟蓬鬆、顏色鮮豔美麗等特點，最適宜於製作窗簾、帷幕、沙發布、臺布、床罩、童裝、地毯和化工用過濾布等。

④阻燃 Nylon 具有阻燃性能良好、強力高和耐磨性好等特點，適宜於製作裝飾用

織物和地毯等產品。

⑤阻燃 PP 用於製作阻燃地毯、壁毯、裝飾用織物、床上用品、汽車及飛機上用布，也適用於阻燃過濾布、濾油氈等。

⑥阻燃 PVA 具有較高的阻燃性，適宜於製作各種防火布。

5. 快速而準確傳遞資訊—光導纖維

光導纖維又稱導光纖維、光學纖維，簡稱光纖。它是一種把光能閉合在纖維中而產生導光作用的纖維，能將光的明暗、光點的明滅變化等信號從一端傳遞到另一端。光導纖維是由兩種或兩種以上折射率不同的透明材料通過特殊複合技術製成的複合材料。它的基本類型是由實際起著導光作用的芯材和能將光能閉合於芯材之中的皮層構成的。光導纖維有各種分類方法：按材料組成成份可分為無機（玻璃、石英）和有機（塑膠）光導纖維；按結構和傳輸特點可分為全反射和自聚焦光導纖維；按傳輸模式可分為多模和單模光導纖維；按形狀和柔性可分為可撓性和不可撓性光導纖維；按纖維結構可分為皮芯型和自聚集型（又稱梯度型）光導纖維；按傳遞性可分為傳光和傳像光導纖維；按傳遞光的波長可分為可見光、紅外線、紫外線、鐳射光導纖維等。其中，全反射型光導纖維為皮芯結構，纖維的芯為折射率較大而透明的導光長絲，而外皮則是低折射率的不透明層，兩者之間形成良好的光學介面，當光線以一定角度從其端面射入時，在皮芯介面會發生反射，並沿芯軸方向反覆反射向前傳播；自聚焦光導纖維是利用光線通過三稜鏡向鏡底偏折的原理，使光在纖維中像通過由多個小三稜鏡組成的雙凸透鏡一樣向中心偏折而聚焦。全反射光導纖維與自聚焦光導纖維的傳輸路徑如圖 3 所示。

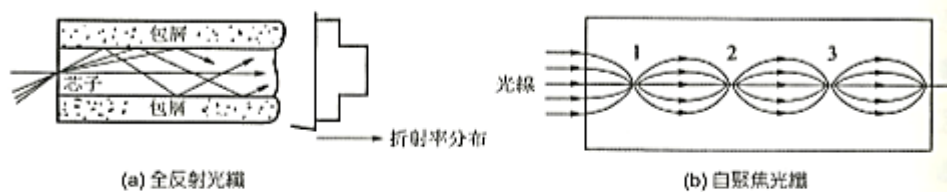


圖 3 全反射光纖和自聚焦光纖的傳輸路徑示意圖

(1) 光導纖維的發展：眾所周知，一般的玻璃片是一種寧折不曲的硬脆性材料，它既不耐衝擊，又不能撓屈。但把玻璃抽成細絲後，它就會一反常態地變得柔軟耐磨、可撓易彎，還具有不燃燒、耐腐蝕、隔熱、吸聲、強度大的特點。玻璃纖維的細度越細，柔韌性越好，合股紗的強力也就越高。又由於玻璃的透光性能好，還有傳遞光能的作用，因此，從 20 世紀 70 年代起，人們就成功地將二氧化矽玻璃纖維用於光通信技術。這是第一代光導纖維，它是用二氧化矽玻璃纖維做芯線，線

外用甲基丙烯酸酯塗膜，以增強光導纖維的機械強度和防此光能散射。通信的原理用玻璃纖維接收光信號、再傳導給光調製器，並經光探測器和光接收機，通過接口件轉換成電磁信號。這種光導纖維的重量只有普通電話電纜的千分之一。而且這種通信方法具有容量大、抗干擾性好、能量衰耗小等特點，但是，這種光導纖維的抽絲和對接難度大，推廣應用困難多。於是，在此基礎上研製成功了第二代光導纖維，它採用合成材料做芯線（聚甲基丙烯酸酯），外層塗料用聚乙烯或聚四氟乙烯。也有採用聚丙烯腈做芯線，用聚苯乙烯做塗層的光導纖維。這種光導纖維的芯線透射率高，塗層折射率低，光能損耗低於 20dB，而且加工技術簡單，可加工極細的光導纖維，目前應用的細度可達 0.025mm 以下，可方便地根據需要來加工導線的長度，這樣可減少接頭的損耗，而且柔軟度優於玻璃纖維，便於推廣應用。

(2) 光導纖維的性能：採用光導纖維進行資訊傳遞，不僅能節省大量的金屬資源，而且使用壽命長、結構緊湊、體積小、性能比電纜好得多，具有容量大、抗干擾性好、能量衰耗小、傳遞距離遠、重量輕、絕緣性能好、保密性強、成本低等特點。就容量而言，是非常驚人的，一根直徑只有 0.001mm 的光導纖維，可以同時傳遞 32000 對電話。如果採用鐳射通信，一條光纜能同時接通 100 億條電話線路和 1000 萬套電視通信，可供全世界每人兩部電話使用，而且光導纖維通信頻率範圍廣、傳遞的音質好、圖像清晰、色彩逼真。同時，由於光導纖維通信的光能頻率高，具有極好的抗干擾性，特別是使用鐳射光源時更為突出，把抗干擾性又高了一步。光能在光導纖維中屏蔽傳導、不易洩露、不易被截獲，具有良好的保密性。更不受空間各種頻率電磁波的干擾，也不會受到風、雨、雷、電的影響，是真正的、名副其實的全天候式安全通信技術。

(3) 光導纖維的用途：光導纖維的特性決定了其廣闊的應用領域。由光導纖維製成的各種光導線、光導杆和光導纖維電極等，廣泛地應用於工業、國防、交通、通信、醫學和航太等領域。

①在通信領域的應用：光導纖維最廣泛的應用在通信領域，即光導纖維通信。自 20 世紀 60 年代以來，由於光源和光纖方面取得了重大的突破，使光通信技術獲得異常迅速的發展。作為光源的鐳射方向性強、頻率高，是進行光通信的理想光源；光波頻帶寬，與電波通信相比，能提供更多的通信通路，可滿足大容量通信系統的要求。因此，光纖通信與衛星通信一併成為通信領域最活躍的兩種通信方式。

②在醫療領域的應用：光導纖維可以用於食道、直腸、膀胱、子宮、胃等深部探

查內窺鏡（胃鏡、血管鏡等）的光學元件，用於不必切開皮肉直接插入身體內部切除癌瘤組織的外科手術鐳射刀，即由光學纖維將鐳射傳遞至手術部位。

- ③在照明和光能傳送領域的應用：利用光導纖維進行短距離傳送可以實一個光源多點照明，光纜照明，可利用有機光纖光纜傳輸太陽光作為水下、地下照明。由於光導纖維柔軟易彎曲變形，可做成任何形狀，以及耗電少、光質穩定、光澤柔和、色彩廣泛，是未來的最佳燈具，如與太陽能的利用結合起來將成為最經濟實惠的光源。今後的高層建築、禮堂、賓館、醫院、娛樂場所，甚至家庭住所都可直接使用光導纖維製成的天花板或牆壁，以及彩織光導纖維字畫等，也可用於道路、公共設施的路燈、廣場的照明和商店櫥窗的廣告（廣告牌、商標顯示、商品照明）。此外，還可用於易燃、易爆、潮濕和腐蝕性強的環境中以及不宜架設輸電線和電器照明的地方作為安全光源。
- ④在國防軍事方面的應用：可以利用光導纖維來製成纖維光學潛望鏡，裝備在潛艇、坦克和飛機上，用於偵察複雜地形或深層遮罩的敵情。
- ⑤在工業方面的應用：可傳輸鐳射進行機械加工；製成各種傳感器用於測量壓力、溫度、流量、位移、光澤、顏色、產品缺陷等；也可用於能量傳輸；還可用於工廠自動化、辦公自動化、機械內及機器間的信號傳送、光電開關、光敏元件等。
- ⑥在其他方面的應用：光導纖維還可用於火車站、機場、廣場、證券交易場所等大型顯示螢幕；短距離通信和數據傳輸；將光電池纖維布與光導纖維布巧妙地結合在一起製成夜間放光的夜行衣，不僅為夜間行人起照明作用，還可提高司機的觀察距離，能夠有效地減少交通事故的發生。

6. 具有變色功能—熱敏和光敏纖維

具有變色功能的纖維稱為變色纖維，當它受到光、熱、氣、液或輻射等外界刺激後，具有能自動顯色、消色或呈現有色變化的功能。變色纖維的品種有光敏變色纖維、熱敏變色纖維、輻射變色纖維、生化變色纖維等數種，其中較為廣泛開發應用的有可逆變色功能的光敏變色纖維和熱敏變色纖維。

- (1) 光敏變色纖維：光敏變色又稱光致變色，是指某些物質在一定波長光的照射下會發生變色，而在另一種波長的光或熱的作用下又會可逆地變化到原來顏色的現象。具有光敏變色功能的纖維稱為光敏變色纖維或光致變色纖維。多數光敏變色纖維能夠在停止光照射後回復原來的顏色。光敏變色纖維是將具有光敏變色性能的光學物質通過共混、接枝、複合等方式或用後整理的方法加入到纖維中或纖維表面而製得。在纖維材料領應用的光敏變色體主要是有機化合物，根據光敏變色機理

的不同，可將他們大致分為四類：分子結構的異構化（順—反異構化，互變異構化，原子價異構化）；分子的離子裂解；分子的自由基解離；氧化還原反應。

另外，在某些情況下，也有因激發態的躍遷而產生光敏變色現象的。

由於光敏變色纖維的顏色能隨外界環境變化而發生可逆變化，因此可使服裝服飾的色彩富於變化，不但可滿足當代消費者追求新穎的消費心理，而且可使人類與環境的關係更加協調。採用光敏變色纖維可製成各種光敏變色繡花絲線、針織紗、梭織紗等，用於製作游泳衣、兒童服、滑雪服、夾克衫、短上衣、連衣裙、T恤衫、安全服、防偽製品、帽子、床罩、燈罩、窗簾、裝飾品及趣味玩具等。在軍事上，光敏變色纖維可作為偽裝隱蔽色材料用於軍需裝備、軍服（如作戰服裝等），以達到軍事偽裝目的。

- (2) 熱敏變色纖維：熱敏變色又稱熱致變色，是指物質受熱或冷卻時所發生的顏色變化現象。當這種顏色轉變具有可逆性時，則為可逆熱敏變色。所謂熱敏變色纖維，通常就是指具有可逆性熱敏變色功能的纖維，又稱熱敏變色纖維。熱敏變色纖維主要是將熱敏化合物（如含鈦、鉻、鋯等金屬的化合物）通過共聚、共混、交聯及塗層等方法引入到纖維中或纖維表面而製成，熱敏變色材料通常是由變色物質加上其他輔助成分組成的特種功能材料，該材料具有顏色隨溫度變化而變化的特性。所謂可逆熱敏變色材料就是加熱到某一溫度範圍時，材料顏色發生變化，呈現出一種新的顏色，而冷卻後又能恢復到原來的顏色，及這種材料具有顏色記憶功能，可以反覆使用。可逆熱敏變色材料按組成和性質可分為三大類：無機材料類、液晶類和有機材料類。總體上分屬無機物和有機物。類：無機材料類液晶類和有機材料類，總體上分屬無機物和有機物，由於這些材料的性質不同，決定了它們具有各自的特點及其不同的變色機理。目前已開發的熱敏變色纖維可在 $-40\sim 800^{\circ}\text{C}$ 之間改變 8 種顏色。

熱敏變色纖維可用於製作熱敏變色滑雪服、游泳衣等運服裝，以及兒童服裝、日常穿著的變色服裝，它不僅具有新穎性，而且可提高某些場合下的可視性，並可由於顏色的變化而調節服裝的面料對太陽能吸收的特性，從而調節溫度。可以把微膠囊化的熱敏變色液晶在黑色織物上印製成各種圖案，當溫度變化時，黑色織物上就會呈現出紅、綠、藍等各種鮮豔的彩色圖案，用於製作別具特色的變色服裝。採用熱敏變色纖維加工成的織物用於製作變色燈罩、窗簾等，可調節光線的明暗度。熱敏變色纖維用作某些儀表儀器、設備、管道等的表面或外包材料，當溫度變化時較易發現，可起到安全標誌的作用。具有特定變色溫度的纖維可用作

乳腺癌、甲狀腺癌等部份皮膚的貼敷材料，或用作受傷部位的貼敷或包紮材料，較小的溫差即可由顯示的不同色彩反映出來，以利於診斷或治療。熱敏變色纖維還可用於變色玩具、防偽標誌、測溫元件及軍事偽裝等方面。

(3) 其他變色纖維：除了光敏和熱敏變色纖維外，近年來開發的還有氣敏變色、輻射變色和生化變色等變色纖維。

①氣敏變色纖維：在常規纖維上分別沉積氧化鎢層和催化劑層可製得氣敏變色纖維，其變色機理基於氧化還原反應和氧化鎢的變價特性，在含有微量氫氣的惰性氣體環境下即可顯色，而當遇到氧氣或空氣時則褪色。日本一家公司開發的氣敏變色纖維具有遇到氨系氣體時變成粉紅色或紫色的特性，可及時檢測到氨的存在。

②輻射變色纖維：將某些吸收輻射波後會改變顏色的化合物（如某些可產生螢光的物質）加入到纖維中而製得輻射變色纖維。當一些看不見的輻射波照射到纖維上時，即改變了纖維原有的顏色。用這類纖維製成的紡織品可用來製作防偽標誌，或者在特種場合起微波顯示和報警作用。

③生化變色纖維：將某些帶羥基、氨基的纖維與乙醯膽鹼酯酶等反應後可得到生化變色纖維，當其接觸到一些有毒、有害物質後會起變色反應。用這類纖維製成的試片，可用於檢驗蔬菜、水果中的殘留農藥量，也可用於某些化工廠或用於對有毒氣體、液體的檢驗。

7. 可對抗無形殺手—防電磁輻射纖維

所謂電磁輻射，是指電磁波譜中的微波段、射波段和工頻段的電磁輻射。這種輻射為非電離輻射，對人體的危害是潛在的，是通過累積效應而顯現的。電磁污染已成為繼空氣、水、噪音污染之後的第四大污染源，從而引起人們普遍的關注。從高壓輸電到大量工頻電器；從廣播、電視到短波通信；從微波電信、微波加工到微波醫療等都存在著許多電磁干擾問題，即使是計算機、傳真機、尋呼機、電冰箱、電視機、行動電話、電子遊戲機等日用家電也同樣會給人們帶來意想不到的危害。幾種常見家用電器的電磁輻射檢測數據見表 1。有專家認為，當電磁輻射強度達到 2×10^{-7} T 時，就有可能會對人體造成危害。對於長期工作在電磁輻射環境中的人員，其累積效應將會造成永久性的疾病。因此，對於電磁輻射強度較大的場所必須採取有效的措施進行預防。一般來說，對電磁輻射的防護可採用時間、距離和遮罩三種方式，即與電磁輻射波接觸的時間越少越好，與波源距離越遠越好，若不得不接觸的話，則應採取遮罩措施，即穿著具遮罩功能的防護服或防電磁輻射的紡織製品。這類紡織品的製造方法大致可分為兩類：一類是採用後整理的方法使紡織品具有遮罩功能；另一類是

採用具有遮罩電磁輻射性能的纖維製成紡織品。其中，後一種方法應用較多，一般將這類紡織品和纖維稱為吸波材料。

表 1 幾種家用電器電磁輻射檢測數據單位： $10^{-7}T$

計算機	100~200	吹風機	70	音響	20
微波爐	200	複印機	40	電冰箱	20
無線電話	200	洗衣機	30	VCD	10
吸塵器	200	電飯鍋	40	錄影機	6
電熱毯	100	空調	20	電熨斗	3
電動剃鬚刀	100	電視	20	傳真機	2

註： $1T=10^4$ Gs= $1N/A \cdot m=1V \cdot s/m^2$ [N=牛頓力，A=安培，V=volt，m=公尺]

吸波材料可分為導電型和導磁型兩類。導電型吸波材料是指該材料在受到外界磁場感應時，在導體內產生感應電流，該感應電流又產生與外界磁場方向相反的磁場，與外界磁場相抵消，從而達到遮罩效果；導磁型吸波材料則是通過磁滯損耗和鐵磁共振損耗而大量吸收電磁波的能量，並將電磁能轉化為熱能。

隨著科學技術的快速發展及人們的生活水準不斷提高，各種各樣的電器走進普通百姓家，因此預防電磁輻射已成為人們普遍關心的問題。目前，具有遮罩電磁輻射功能的纖維不斷被開發與應用，主要有以下六大類：

- (1) 金屬纖維：這是最早被用作遮罩材料的紡織纖維，主要有銅、銀、不鏽鋼、鎳等纖維。這類纖維具有很好的導電性，而且可以做得較細、較柔軟，並具有很好的可紡性，也可與其他纖維混紡、併攏、交織製成遮罩材料。它雖有較好的耐久導電功能，但大多數的金屬纖維的手感和染色性能較差，價格偏高。
- (2) 含碳纖維：該類纖維是在紡絲或聚合時將碳微粒加到纖維中而製成。此類纖維手感柔軟，可紡性好，可與大多數纖維混紡、交織，且適宜生產深色織物。
- (3) 表面塗層纖維：此類纖維是採用電鍍或化學鍍的方法在普通纖維上鍍一層導電物質，如銀、銅、鋁、鎳等金屬，使其具有導電性能。此類纖維兼具金屬纖維與普通纖維的特點。既有較好的導電及遮罩電磁輻射的功能，又可織成各種用途的紡織品。
- (4) 塗層纖維：該類纖維是將金屬（如硫化銅等）塗在普通纖維表面，使其具有導電性能。
- (5) 導電聚合物纖維：該類纖維是本身具有導電性能的纖維，這類聚合物包括聚乙炔、聚吡咯、聚苯胺及聚噻吩等。其原理是利用 π 電子的線形或平面形構型將高分子

電荷轉移給絡合物的作用而設計導電結構。

(6) 嫁接導電聚合物纖維：該類纖維是將纖維浸在具有導電性能的聚合物單體中，使單體在適當的條件下發生聚合反應，並產生具有中度穩定性的陽離子基團，在導電聚合物嫁接到纖維上的過程中，陽離子基團被吸附到纖維表面和間隙中，在進一步的基團偶合反應中，這些陽離子形成一層穩定的、相互黏附的、高度結合的導電薄層。

防電磁輻射纖維多數採用混紡、交織、合股等夾在織物中，可做成微波防護服、孕婦服和微波遮罩材料等。

8. 具有山野情調—負離子纖維

當今地球的生態環境日益惡化，人口膨脹，污染嚴重，自然災害頻發，與此同時，由於生活環境的不良引起的各種綜合病症增多，人們的健康受到嚴重的威脅，其中原因之一就是空氣中的負離子較少所致。空氣中的負離子多為氧離子和水化羥基離子等，負離子對人體的健康是非常有益的，“山水”好的地方負離子就多，居住在這些地方的人們也多健康長壽。一般而言，負離子對人體的影響主要就表現在以下幾個方面：

- (1) 影響細胞的電位，能促進細胞的新陳代謝，增加機體的免疫功能；
- (2) 能增加細胞的滲透性，增加吸氧量，改善肺功能；
- (3) 能調節血液的酸鹼度，使其呈弱鹼性，並具有表面活性劑的作用，使血管中膽固醇分散、減輕絮凝狀、使血液流暢；
- (4) 呼吸富有負離子的空氣，具有安定神經、改善睡眠質量、減輕或消除疲勞的功效；
- (5) 具有消炎止痛的功效，對某些疾病有輔助治療的作用。

負離子含量與人體健康的關係見表 2。

表 2 負離子含量與人體健康的關係

地區	負離子含量/(個/cm ³)	與人體健康關係的程度
森林瀑布區	10 ⁵ ~(5×10 ⁵)	具有自然痊癒力
高山海邊	(5×10 ⁴)~10 ⁵	有殺菌作用，減少疾病傳染
郊外田野	(3×10 ⁴)~(5~10 ⁴)	增強人體免疫力及抗菌力
都市公園	1000~2000	維持健康基本需要
街道綠化區	100~200	誘發生理障礙邊緣
都市住宅封閉區	40~50	誘發生理障礙，加劇病情
室內冷暖空調房間(長時間後)	1~25	引發空調病

由表 2 可看出，不同地區的負離子含有量有很大的差別，因而對人體健康產生不同的影響。空氣中的負離子主要是空氣中的分子通過機械、光、靜電、化學或生物能作用電離而成。如瀑布使水分子與空氣摩擦而產生大量負離子；田野中陽光、宇宙射線、岩石、土壤中的射線可造成電離；雷雨等電場也可使氣體電離產生負離子；植物的光合作用、海洋中的藻類同樣能提供能量，增加空氣中的負離子。近代，人們發現電氣石也會產生負離子 $[(H_3O_2)]$ 。此外，一些無機氧化物複合粉體也可在空氣中誘發負離子，有的稀土複合鹽也具有導致空氣中分子電離的功能。因此，將這類物質粉碎成微米或奈米級後，在紡絲時加到聚合物中，即可製得產生負離子的纖維。

負離子纖維又名電氣石纖維，屬於機能性纖維的保健型纖維。在一定的溫度、濕度、光照及運動狀態下，能比普通纖維發射更多的對人體健康有益的負離子。產生負離子的機理是在纖維中添加一些能激發空氣中產生負離子的礦物微粉（也有的加入一些帶有放射性的稀土元素）。用這些礦石晶體結構的不對稱性，導致兩個高電荷的原子在結晶格架上排列錯位，使其在機械力的作用和晶體的溫度變化條件下產生熱電效應和壓電效應。這種晶體間的高壓電勢差，可使鄰近空氣發生電離、脫離原子核束縛的電子附著於鄰近的水和氧氣分子後形成負離子。可釋放激發負離子的礦石較多，如電氣石、奇冰石、蛋白石、奇才石等。

負離子纖維與人體健康係密切，越來越被人們關注，主要用於保健類產品的開發：

- ①用於家飾產品，如床上用品、地毯、沙發套、窗簾等；
- ②用於服裝和玩具，如內衣、外衣、睡衣、毛毯類玩具等；
- ③用於交通工具，如汽車、輪船、火車裝飾材料等；
- ④用於產業領域，如空調過濾器、醫療保健產品等。

9. 冷暖皆宜—蓄熱調溫纖維

每到嚴寒的冬季，大雪紛飛、北風呼嘯的時候，人們不得不穿上臃腫的冬裝來禦寒，既不美觀，也不方便。有沒有一種能蓄熱調溫的服裝呢？答案是肯定的，航太服就是具有蓄熱調溫的功效。

所謂蓄熱調溫纖維，是指具有溫度調節功能的纖維，當外界環境變化時它具有升溫保暖或降溫涼爽的作用，或者兼具升降溫作用，可在一定程度上保持溫度基本恆定。蓄熱調溫纖維又稱陽光纖維、吸能纖維，它可將太陽能或紅外線轉變為熱能並儲存於纖維中。這種纖維一般採用將陶瓷微粉混入 PAN、PET 或 Nylon 等中而製得。根據所用陶瓷微粉種類的不同，其蓄熱調溫機理有兩種：一是將陽光轉換為遠紅外線，相應的纖維稱為陽光纖維；二是低溫（接近體溫）下輻射遠紅外線，相應的纖維稱為

遠紅外纖維。以上是單向溫度調節纖維，其蓄熱調溫原理如圖 4 所示。這類纖維依其調溫機理不同又可分為多種類型，除陽光纖維和遠紅外纖維外，還有電熱纖維、化學反應放熱纖維、吸濕放熱纖維、紫外線和熱線遮罩纖維等。

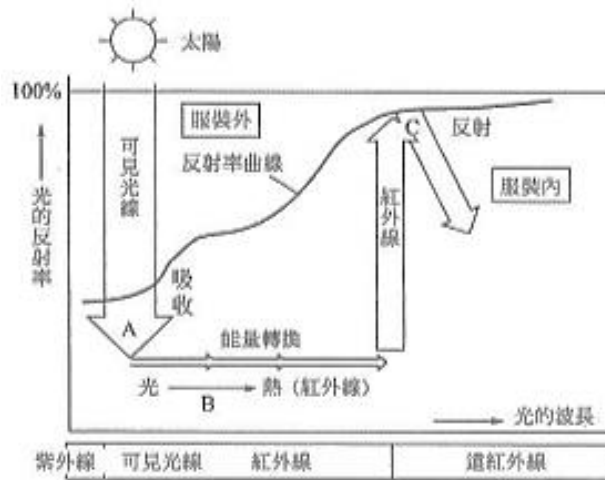


圖 4 蓄熱調溫原理圖

雙向溫度調節纖維又稱溫控纖維、調溫纖維、相變蓄熱纖維、蓄熱調溫纖維。可根據外界環境溫度的變化而自動吸熱或放熱，從而能夠自動雙向調節自身溫度。當外界環境溫度發生變化時，纖維中的相變物質也發生相變，並伴隨吸熱或放熱現象，這種現象是可逆多次進行，因而可保持纖維溫度相對恆定。相變種類有氣、液、固三態變化，以及結晶、晶型轉變、晶體熔融等。蓄熱原理是在普通纖維中加入相變物質，這種相變材料（PCM，phase change material）可分為無機 PCM 和有機 PCM 兩大類。用於紡織纖維的無機 PCM 主要是結晶水合鹽，常用的有 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 等，它們的相變溫度在 35°C 以下，這類材料價格低、相變熱大、體積蓄熱密度大、熱導率也較有機 PCM 大；缺點是過冷度大，易析出分離。常用有機 PCM 為石蠟烴、有機酯、多元醇等，如含有 12~24 個碳原子的直鏈烷烴，其相變溫度為 $18\sim 40^\circ\text{C}$ 。有機 PCM 的優點是潛熱大，一般不過冷、不析出，性能穩定，但導熱率小，通常採用添加金屬粉末、石墨粉的方法強化導熱。其中多元醇是固 - 固相變材料，是通過晶格變化而吸放熱，不會因變為液態而滲出。多元醇中聚乙二醇是應用較多的材料之一。目前已有將無機 PCM 與有機 PAM 複合的方法使其優勢互補。蓄熱纖維製法有浸漬法：將中空纖維浸漬於相變材料（如無機鹽）溶液中，使纖維中空部份充滿相變材料，經乾燥後再利用特殊技術將纖維兩端密封，可製得相變纖維；複合紡絲法：將聚合物和相變材料熔體或溶液

按一定比例採用複合紡絲法直接製成皮芯型複合相變纖維；微膠囊法：將正二十一烷和正十八烷雙組分相變材料包覆於微膠囊中，在聚合物紡絲過程中將相變微膠囊加入，用該法加工的相變纖維分散均勻、調溫性能顯著。

蓄熱調溫纖維的用途與其他紡織纖維相同，既可常規紡織加工（如紡紗、針織、梭織等），也可經非常規紡織方法工（如不織、層壓等方法）製成各種厚度和結構的製品。雖然蓄熱調溫纖維的加工與常規纖維沒有明顯的區別，但其製品與常規纖維製品卻有明顯的差異，即它有隨環境溫度變化而在一定溫度範圍內自動雙向調節溫度的作用。它尤其適合用於加工各類自動調溫服裝，如 T 恤衫、襯衣、連衣裙、內衣褲、睡衣、襪和帽等日常民用服裝；手術衣、燒燙傷病人服、老弱病人服和兒童服等醫療保健服裝；滑雪衫、滑雪靴、手套、游泳衣、體操服和極地探險服等運動服；消防服、煉鋼服、潛水服、軍服和航太服等職業服裝內襯等。此外，它還適用於製作膝蓋護墊、醫療繃帶、頭盔內襯等局部保護或醫療用品；被褥、枕心、床單等床上用品；窗簾、沙發套、靠墊等室內裝飾品；車頂、座椅等部份的汽車內裝飾織物和野營帳篷等。也可用作動植物、精密儀器等保健材料，使其免受環境溫度劇烈變化的影響；自動調溫房屋的建築材料，使其在冬夏均保持適宜的工作溫度，以及其他貯備節能和溫度調控材料。

10.可代替金屬絲—有機導電纖維

在人們日常生活中常常會遇到這樣的煩惱：當你晚上睡覺前脫衣時，常會發生“劈裡啪啦”的響響，並伴隨著電火花；當你下班回家用鑰匙開門時有觸電感等。這些現象的發生都是衣服上積聚的靜電放電現象。更有甚者，當衣服之間摩擦產生的靜電壓升到某一數值時，如果環境中可燃性氣體濃度超過爆炸下限，或飄浮細微的塵埃，或氧氣濃度很高（如在醫院手術室進行乙醚麻醉手術時），會發生爆炸。靜電也會造成很多麻煩和損失，如紡織品的吸塵和複印機、傳真機的紙被卡住。在電子設備的加工包裝時，由於發生靜電震盪，破壞線路，每年造成上百億美元的損失。由於集成電路塊的微型化，損失更大。消除靜電的方法，主要是提高纖維的導電度，一般要求達到半導體的水準（ $10^{-7} \sim 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ）。

導電纖維正是為解決上述問題而出現的。所謂導電纖維是指在標準狀態（溫度為 20°C ，相對濕度為 65%）下，質量比電阻在 $10^8 \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ 以下的纖維。而在同樣條件下，PET 質量比電阻為 $10^{17} \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ 。其導電原理是纖維內部含有自由電子的移動，而不是依靠吸濕和離子的轉移，即使在低的濕度條件下也不會改變導電性能。幾種典型導電纖維的種類、性能、製法及特點見表 3。

表 3 幾種典型導電纖維的種類、性能、製法及特點

導電纖維種類		電阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}$	製造方法	性能特點
金屬纖維 (不繡鋼、銅、鎳、鋁等)		$10^{-4} \sim 10^{-5}$	拉伸法、切削法、結晶析出法等	導電性好，耐熱、阻燃，可紡性差，染色難，價格高
碳素導電纖維		$10^{-3} \sim 10^{-4}$	黏液纖維、PAN、瀝青碳化法	高強，耐熱，耐化學品，韌性、熱收縮性差，染色難，價格高
有機導電纖維	加碘聚乙炔等導電聚合物	10^{-4}	溶劑法或乾法紡絲	難熔、熔，不易紡絲，技術複雜，成本高
	表面鍍層纖維	10^{-4}	纖維表面用化學鍍或真空鍍金屬	導電性好，耐久性、可紡性、染色性差
	表面塗覆纖維	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	炭黑或金屬粉末加黏合劑，塗覆纖維表面後固化	導電性好，耐久性、染色性差，產量低，成本略高
	絡合導電纖維	$10^7 \sim 10^8$	在銅鹽溶液中，PAN 上的氰基與銅離子絡合生成銅的硫化物	技術複雜，可紡性好，導電性略差
	吸附苯胺纖維	1.7×10^{-2}	化學纖維氧化劑處理後吸附苯胺單體，形成聚苯胺導電層	可紡性、染色性好
	炭黑複合導電纖維	10^5	用複合法，中間為 35%炭黑的 PA 芯，皮為含聚乙二醇等親水物質；或海島法	可紡性好，色澤較黑
	白色複合導電纖維	$10^8 \sim 10^{10}$	以銅、銀、鎳、鎘等金屬硫化物、碘化物、氧化物粉為添加物，複合紡絲	可紡性、可染性好，導電性略差
	丙烯腈接枝聚醯胺纖維	$10^3 \sim 10^4$	將帶有-CN 基團的丙烯腈與聚醯胺接枝改性，用金屬絡合處理法使纖維表面形成導電層	可紡性、導電性好

導電纖維品種較多，大致可分為三類：

- (1) 本身具有導電性，如金屬纖維和碳纖維等。
- (2) 有機導電纖維，按導電成分在纖維中的分佈狀態可分為三種：

①均勻型，導電成分均勻地分佈在纖維內；

②被覆型，導電成分通過塗、鍍等方法被覆於纖維表面，如將導電金屬鍍覆於纖維表面。

③複合型，導電組分和非導電組分通過複合紡絲方法製取導電纖維。有機導電纖維以普通合成纖維為基體，在纖維中添加炭黑、石墨、金屬或金屬氧化物等導電性微粒或微細纖維製得。

(3) 合成具有導電性能的石墨纖維。目前尚未工業化，是在碳纖維的表面上沉積石墨再用硝酸處理而製得。

在抗靜電織物中所使用的導電纖維應具備以下特性：

(1) 應有優良消除靜電的能力；

(2) 具有穩定的物理性質和化學性質；

(3) 有較好的抱合性能，容易與一般紡織纖維混紡和交織，不影響織物的柔軟性和外觀。

導電纖維消除靜電作用的機理可分兩種情況來說明。不接地的導電纖維消除靜電的過程；含有導電纖維的織物因與其他物體摩擦而帶上靜電，織物（帶電體）中所產生的電荷向導電纖維匯集，從而導電纖維中誘導了與織物電荷符號相反的電荷，同時在導電纖維附近誘發產生強電場，使其周圍的空氣受到電場的作用而產生電離，最後，電暈放電所產生的正、負離子中，與織物所帶電荷符號相反的離子向織物移動，與織物所帶電荷中和，從而消除靜電。而接地導電纖維消除靜電的機理是在電暈放電的同時，誘導電荷匯集在導電纖維的周圍並洩漏進入大地。當帶電物體與接地的導電纖維接近時，在導電纖維的周圍產生了正、負離子，其中與帶電物體所帶的電荷符號相反的離子移向帶電物體而中和，而與帶電物體所帶的電荷符號相同的離子經導電纖維洩入大地。

導電纖維的製取，一般是以普通合成纖維為基體，通過混熔（採用導電材料粉末如石墨或銅、銀等金屬粉末分散到熔融的合成纖維母體中紡製）、蒸鍍（將金屬塗在合成纖維母體上再經裂膜法紡製）、電鍍（把導電金屬鍍到纖維上，也有將碘化銅之類的金屬化合物吸附在纖維之內的）、複合紡絲等方法，在纖維中添加炭黑、石墨、金屬或金屬氧化物等導電性微粒或微纖維製得。

導電纖維具有導電、抗靜電、電熱、反射和吸收電磁波、傳感等多種功能，同時具有質輕、富有彈性、可撓曲性好、不易沾附塵埃、可洗、便於加工等優點。如在普通合成纖維中混入 0.5%~3.0%的導電纖維後，便具有良好的抗靜電性能。

導電纖維一般用於防止靜電的場合。其製品可用於製作靜電感應罩、電磁波遮罩和發熱元件，採用混有導電纖維的織物可用作無菌工作服、無塵服、抗靜電工作服、防爆作業服、地毯、帶電作業服、毛毯、過濾袋、消電刷、人工草坪等。

11. 對形狀具有記憶功能—形狀記憶纖維

形狀記憶纖維屬於智慧纖維的一種，是一種具有記憶纖維初始形狀的功能。該纖維是能對外刺激（如熱、光、電、磁、化學、機械、濕度等）發生預定響應的一種材料。其纖維內部的一部分分子結構在外界刺激下將使纖維恢復到固定形態。這種纖維的分子結構中一般具有兩相或多相結構，即無定形的硬段區及能可逆固化與軟化的軟段區（結晶區）。在通常溫度下，當有外力作用時，纖維的形狀隨外力改變，當溫度升到軟段的結晶態熔點或高彈態時，軟段的微觀布朗運動加劇而易產生變形，但硬段仍處於玻璃態或結晶態，阻止分子鏈產生滑移，抵抗變形，從而產生回彈性，即記憶性，而當溫度下降到其玻璃態時，形變被凍結固定下來，纖維又恢復到原來的形狀。

這類具有形狀記憶功能的智慧纖維，主要可分為形狀記憶合金纖維、形狀記憶陶瓷纖維、形狀記憶聚合物纖維和形狀記憶凝膠纖維等。

(1) 形狀記憶合金纖維：具有一定形狀的合金固體材料，在某一低溫狀態下經過塑性變形後，通過加熱到這種材料固有的某一臨界溫度以上時，材料又恢復到初始形狀的現象，稱為形狀記憶效應。具有這種形狀記憶效應的合金稱為形狀記憶合金，由這種特性的合金加工而成的具有形狀記憶效應的纖維材料稱為形狀記憶合金纖維。例如，在高溫時將處理成一定形狀的鈦—鎳（Ti-Ni）合金纖維急冷下來，在低溫相狀態下經塑性變形成另一種形狀，然後加熱到高溫相成為穩定狀態的溫度時通過馬氏體逆相變會恢復到低溫塑性變形前的形狀。大部份合金記憶材料是通過馬氏體相變而呈現形狀記憶效應。馬氏體相變具有可逆性，將馬氏體向高溫相（奧氏體）的轉變稱為逆轉變。形狀記憶效應是熱彈性馬氏體相變產生的低溫相在加熱時向高溫相進行可逆轉變的結果。據報導，形狀記憶合金多達數十種，根據合金的組成和相變特徵，只有鈦—鎳系形狀記憶合金、銅基系形狀記憶合金和鐵基系形狀記憶合金這三大系列才真正具有較完全形狀記憶效應。

其中，鈦—鎳形狀記憶合金是目前所有形狀記憶合金中研究得最全面，而且記憶性能最好、最具工業實用價值的合金材料。它具有優良的力學性能，抗疲勞、耐磨損、抗腐蝕，形狀記憶恢復率高，生物相容性好，熱加工成形性能也相當好。目前作為生物醫學材料使用的形狀記憶合金主要是 Ti-Ni 合金。

形狀記憶合金纖維具有形狀記憶、超彈性和減震三大功能，廣泛應用於溫控驅動

件、溫度開關、機器人、醫學、飾品與玩具等方面。在工業上，利用形狀記憶合金纖維的一次形狀恢復，可用於製造宇宙飛行器，如人造衛星的天線、火災報警器等；利用其反覆形狀恢復，可用於溫度傳感器、調節室內溫度的恆溫器、溫室窗開閉器、熱電繼電器的控制元件、機械手、機器人等。在醫學上，由於它的強度高、耐腐蝕、抗疲勞、無毒副作用、生物相容性好，既能滿足生物力學功能要求，又能滿足化學和生物上要求，具有良好的生物化學穩定性，因而在製作牙齒矯形絲（超彈性牙齒短形絲、熱啟動牙齒矯形絲和搖椅型牙齒矯形絲）、人造關節、血管和腔道擴張支架等方面得到了廣泛的醫學應用。在服裝上，可用於防燙傷服裝中。

(2) 形狀記憶陶瓷纖維：陶瓷材料具有許多優良的物理性能，但不能在室溫下進行塑性加工，性質硬脆，因而限制了它的許多應用。近來已發現一些陶瓷材料也具有形狀記憶效應，如 ZrO_2 陶瓷及 $BaTiO_3$ 、 $KNbO_3$ 和 $PbTiO_3$ 等鈣鈦石類氧化物等，目前廣泛研究開發的形狀記憶陶瓷是以氧化鋯為主要成分的陶瓷材料，其形狀記憶受陶瓷中 ZrO_2 的含量以及 Y_2O_3 、 CaO 、 MgO 等添加劑的影響，調整化學成分，可以控制操作溫度。形狀記憶陶瓷纖維是將形狀記憶陶瓷通過熔融紡絲或溶膠凝膠加工而成的纖維。例如，通過溶膠凝膠技術製得 PLZT 陶瓷纖維，用該纖維加工成一個 PLZT 螺旋絲並加熱至 $200^\circ C$ （此溫度遠高於機械加載恢復得轉變溫度 T_f ），然後急速將絲冷卻至 $38^\circ C$ （低於 T_f ），經過脆化的 PLZT 螺旋絲卸載後，變形量達 30%。若將該絲再加熱至 $180^\circ C$ （高於 T_f ），它能恢復原來的形狀，顯示出形狀記憶效應。形狀記憶陶瓷纖維可用於能量儲存執行元件和特種功能材料。

(3) 形狀記憶聚合物纖維：形狀記憶聚合物是在一定條件下發生形變獲得初始形狀後，還可再次加工成型的得到二次形狀，通過加熱等外部刺激手段的處理又可使其發生形狀回復，從而“記憶”初始形狀。根據形狀回復原理，形狀記憶聚合物可分為熱致形狀記憶聚合物、光致形狀記憶聚合物等。一般而言，凡是具有固定相和軟化—硬化可逆相結構的聚合物都可作為形狀記憶聚合物。它可以是單組分聚合物，也可以是軟化溫度不同、相容性好的兩種組分嵌段或接枝共聚物或共混物。所謂形狀記憶聚合物纖維，就是將一些可以保持形狀記憶功能的形狀記憶聚合物加工而成的纖維。目前已開發成功的具有形狀記憶功能的聚合物有聚降冰片烯、苯乙烯—丁二烯共聚物、線型聚氨酯、反式聚異戊二烯（TPI）、交聯聚乙烯、聚己內酯、聚醯胺、聚酯醚、聚酯系聚合物合金等。

與形狀記憶合金纖維相比，形狀記憶聚合物纖維不僅具有變形量大、賦型容易、

形狀響應溫度便於調整以及保溫、絕緣性好等優點，而且具有不腐蝕、易著色、可印刷、質輕、價廉等特點，因而其應用範圍較為廣泛。熱致形狀記憶聚合物纖維可用於日常服裝服飾方面的襯衫領、領帶、人造花、頭套、胸罩，醫療衛生方面的血管擴張元件、繃帶、衛生巾、尿布，文體娛樂方面的運動服、運動用品、教具、玩具，機械製造方面的襯裡材料、緩衝材料，土木建築方面的密封材料，以及印刷包裝材料、商品識偽、火災警報裝置等；光致形狀記憶纖維可用於光能轉換、光控開關、光學傳感及光響應藥物釋放體系等方面。

- (4) 形狀記憶凝膠纖維：形狀記憶凝膠纖維是由智慧高分子凝膠構成的凝膠纖維，當這種纖維受到不同外界刺激時，可發生可逆的收縮和溶脹，表現出纖維長度的可逆變化。也就是說，具有一定初始長度形狀的這種纖維，當受到某一外界環境條件刺激後，可發生收縮或伸長，然後當再次受到另一環境條件刺激後，會發生逆向的長度變化，形狀回復，即這種纖維具有形狀記憶功能。

形狀記憶凝膠纖維可採用共聚、共混、交聯、氧化—皂化等多種方法製取。例如，高溫度（10%~15%）的聚乙烯醇（PVA）溶液與相對分子質量約為170000的聚丙烯酸酯類樹脂混和，在-25~-45℃冷凍，然後熔化，重複數次，甚至PVA交聯成為橡膠狀固體。由這種固體加工成的凝膠纖維能根據溶液的pH值的變化而迅速溶脹和收縮，溶脹長度變化可達80%，而收縮響應時間不到2s。形狀記憶凝膠纖維的應用領域十分廣泛，如光、熱、pH值等傳感器，人工肌肉等驅動器，稀漿脫水等選擇分離，反饋控制生物催化劑等生物催化，溫敏反應“開”和“關”的催化系統等智慧催化劑，細胞脫附等生物技術，熱適應性織物和可逆收縮織物等智慧織物，能量轉化的新型熱機等領域。

12. 在陽光照耀下能除去有毒有害物質—光降解纖維

光降解纖維，又稱為光催化纖維、光觸媒纖維。這種纖維在日光特別是在紫外線照射下，可自行除去有毒有害的煙塵、氣體及抑制、殺滅細菌等，不僅能對一般臭味可吸附分解，而且對一些有害的揮發性有機物（如甲醛、苯、甲苯、二甲苯等）也有消除的功能。

光降解纖維的製取方法主要是在纖維中加入二氧化鈦微粉，微粉經超細、分散、修飾處理後以供混或共聚方式加入到聚合物中，經紡絲製得。而這種二氧化鈦最好是銳鈦礦（A type）型，粒徑達到奈米級。光降解的原理是當TiO₂吸收紫外線後，將產生一組帶正、負電荷的空穴與電子。空穴具有較強的氧化能力，而電子具有超強的還原能力。它們與附近的水氣（H₂O）反應後，便形成了活性氧類的超氧化物和羥基原子團，這些氧化能力極強的自由基可以分解周圍的有機物及部分無機物。如可破壞

細胞的細胞膜、細胞壁及細胞內的成分，分解甲醛、氨、苯等有害氣體，並降解成無毒無害的 CO₂ 和 H₂O。

光降解纖維除採用紡絲製取外，也可用後整理的方式將二氧化鈦塗覆在纖維或織物表面製得光降解織物。光降解纖維的用途廣泛，可用於空調過濾系統，起到抑菌除臭作用。由光降解纖維製成的窗簾在日光照射下可消除室內有害氣體。還可製成床上用品、沙發、服裝、襪子、交通工具的裝飾品等。在污水處理中也可起到淨化作用。

13. 能基礎保健—預防性藥物纖維

預防性藥物纖維又稱保健纖維。這種纖維除本身具有的常規性能外，還有保健功能，如芳香、消炎、止痛、止血、止癢、麻醉、抗菌除臭、減肥、避孕、活血化瘀、安神鎮靜、防心臟病、防胃病等。這類纖維包括本身具有藥物功能的纖維（如明膠纖維、海藻酸鈣纖維等）外，更多的是在普通纖維中加入某些藥物後製成的纖維。其紡絲方法有混紡、浸藥、接枝及複合紡絲法，將藥物摻加到芯層，切成短纖維後，藥物可從纖維兩端逐漸釋放或將藥物作成微膠囊加入到纖維中，將藥物軋入聚合物薄膜後再進行分切膜裂成纖維狀；也可用多孔纖維浸泡藥液，達到吸收保存藥物的效果。

藥物纖維的用途主要在以下幾個方面：

- (1) 衛生敷料：將止血、止痛、麻醉類藥物加入到纖維中後可製作創傷敷料、止血紗布及麻醉藥劑，可緩解病痛，促進傷口癒合。
- (2) 透皮吸收藥物織物：如將消炎、止痛、止癢、麻醉、硝酸甘油、維生素 C 等藥物加入到纖維中織製成織物後，可通過人體皮膚吸收、促進醫療。這類織物可用於製作內衣褲、背心、護腰、護關節、枕巾及鞋襪等。
- (3) 藥物載體：如胃藥纖維，口服後不僅藥物散發面大，而且在胃裡停留時間長，延長藥物被吸收的時間，增加療效。
- (4) 體內植入：如藥物縫合線，可在手術縫合線內加入抗感染、止痛、止血、麻醉、抗菌、防生物排異及促進癒合等藥物，使用這種手術縫合線，可提高手術質量，並促進傷口癒合。並且某些避孕藥、激素類藥物都可載入中空纖維內，植入人體內可起到緩釋作用。
- (5) 智慧藥物：將藥物植於纖維內部，當外界條件改變時，藥物將釋放，起到治療作用。如體溫升高、濕度增加、出血後藥物被釋放，可用於重症病人或戰場上士兵急救治療。
- (6) 美容面膜：將藥物浸入純黏液纖維，經水刺製成不織布浸藥後，可作美容面膜。

14. 功能奇異—中空纖維

中空纖維又稱空心纖維。它是一種具有分離功能的高分子膜，是由高聚物紡絲溶液經特殊截面的噴絲孔擠出而成，是一種貫通纖維軸向具有管狀空腔的化學纖維。在纖維壁上布滿有很多微孔，這些微孔相互連通構成網路組織。因而形成具有一定微孔直徑和反滲透性的中空纖維分離膜，利用膜表面的微孔結構對物質進行選擇性的分離，在常溫下以壓力為推力，使溶劑中的水和小分子物質透過，而大分子及膠體物被截留，從而實現大小分子間的分離、濃縮或淨化的目的。

根據中空纖維的不同作用，可分為兩大類：

- (1) 普通絮片用：對這一類纖維的中空度要求不高，主要是追求質輕而保溫，纖維材質為 PET 或 PAN。其中 PET 的彈性模量較高，為了提高其回彈性，通常製成偏芯的中空纖維，經熱處理後可獲得永久性的三維捲曲，以提高保溫性和穿著舒適感，三維捲曲 PET 常用於不織布製造噴膠棉。PAN 俗稱人造羊毛，本身具有較好的保溫性。
- (2) 分離膜用：纖維的中空度和截面圓整度要求較高，對膜壁微孔及其分佈也有一定要求，而且有些纖維表面還要塗一層或兩層不同的超薄分離層，以提高分離效果和選擇性等。根據中空纖維分離膜所選用的材質、膜微孔的大小、膜結構和分離原理，可分為五大類。

① 中空纖維微濾膜：中空纖維微濾膜又稱精密過濾膜，是指具有過濾超微粒分子等的中空纖維分離膜。分離的粒徑範圍為 25~10000nm，一般為 200nm 左右。其分離器是靠壓力差驅動，可精密過濾水或溶液中的超微粉分子。操作壓力可減壓至 2Pa。分離的對象為懸濁物、超微粒子和細菌，透過物質為水或溶液。纖維的製取是將聚乙烯等熔紡製成多微孔中空絲。用途由中空纖維分離膜微孔而定，如圖 5 所示。孔徑為 3.0~8.0 μm 者，可用於過濾溶劑、試劑、潤滑油及檢測液中的微粒子和細胞，除去淡水中的小球藻和藍色藻類等；孔徑為 0.8~1.0 μm 者，可用於除去液體中的酵母和黴菌類，用於血清的過濾，細菌的去除、酵母和黴菌類的定量檢測等；微孔為 0.4~0.6 μm 者，可用於一般過濾、細菌的過濾捕集、微粒子和細菌的測定、空氣中石棉纖維的捕集；孔徑為 0.2 μm 者，可完全捕及過濾細菌，進行細菌的定量測定及血漿的交集分離；孔徑為 0.08~0.10 μm 者，可過濾病毒和作為超純水的終端過濾；孔徑為 0.03~0.05 μm 者，可用於細菌、病毒和蛋白質的過濾。

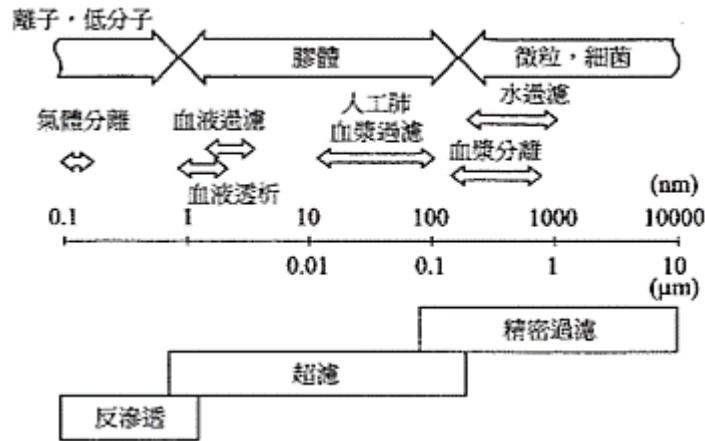


圖 5 分離膜的孔徑尺寸

②中空纖維超濾膜：是指具有超過濾功能的中空纖維分離膜。可分離相對分子質量為 1000~300000 的膠體和高分子化合物，透過物質為水和鹽，分離元件的驅動力為壓力差，操作壓力為減壓至 10Pa。主要用途是分離溶液中蛋白質、酶、乳液、細菌和超微粒子，具體應用於各種製造過程中的原料用水乳膠，陶瓷、玻璃和矽等研磨加工時的廢水處理，膠乳以及各種有機乳液的濃縮和油水分離，包括含切削油的廢水濃縮、纖維加工過程中的油劑回收、蛋白質和酶的濃縮回收、無菌水的製造生產、某些塗料的回收、高濃度活性污泥的過濾，以及家庭用淨水器和小型攜帶式水處理器（聚乙稀中空纖維膜）等。

③中空纖維透析膜：這是一種具有透析功能的中空纖維分離膜。材質有醋酸纖維素、乙稀—醋酸乙稀共聚體、氨乙稀—丙稀腈共聚體、聚甲基丙稀酸甲酯，以及纖維素銅氨溶液和黏液等。可分離溶液中的鹽類和低分子物，對一般透析來說，透過的物質為離子和低分子有機物，而對藥物釋放來說為低分子有機物。用作血漿分離用中空纖維分離器的有 PLASMAFLO（二醋酸纖維素）、PLASMACURE（聚乙稀醇）、PLASMAXPS（聚甲基丙稀酸甲酯）、JP-50（二醋酸纖維素系聚合物合金）、PLASMA SEPARATOR（聚乙稀）等，這些膜具有血漿分離能力高、使用過程穩定、溶質透過率高、血小板等血細胞成分不能透過、不會發生溶血現象、血液適應性好、溶出物少而安全等特點。XM-50 膜主要用於人工脾，可截留相對分子質量為 5×10^4 的物質，內分泌細胞可靠該中空纖維膜與生物體隔離，而且淋巴細胞也不會受到相對分子質量為 16×10^4 的抗體的攻擊。纖維的製取可用中空或 C 型噴絲板通過乾—濕紡成纖維，中空噴絲板中部可通過空氣或不同組成的凝固液，以滿足不同膜微孔和結構要求的透

析膜，製成系列產品。中空纖維透析膜的主要用途是製造人工腎、人工肝，以及胸部或腹水透析、血漿分離等。它可從腎功能不全的病人血液中除去尿素、尿酸及肌酐等有害物質，同時還可治療多種疑難雜症，如多發性骨髓腫、關節炎、全身性紅斑狼瘡、紫斑病及藥物中毒等病症。

- ④中空纖維反滲透膜：這是一種具有透析功能的中空纖維分離膜。可在溶液中分離出無機鹽、糖類、氨基酸等，透過物質是水。反滲透器的驅動力為壓力差，操作壓力為 $10\sim 100\text{Pa}$ 。三醋酸纖維素系的耐氨和氧化劑的性能優良，無活性，膠體難以附著，可長期穩定運轉。芳族聚醯胺分離效率高，但耐鹼性稍差，可採用與費立嗪系化合物共聚而使其耐鹼性提高 6 倍，而且耐熱和耐酸鹼性也有所提高。中空纖維反滲透膜的製取是將所選聚合物先溶於適當的溶劑中，採用中空噴絲板進行乾—濕紡，製成中空纖維非對稱膜，隨後再將數十萬至數千萬根纖維在濕態下集束，並在開口端用環氧樹脂黏合劑封頭，裝入圓柱形的殼體內，即為分離元件。圖 6 所示為中空纖維反滲透膜組件，主要用於海水和苦鹹水的淡化、超純水的製備，丙烯酸塗料的回收、氨基酸及某些有機物水溶液和相對分子質量小於 350 的糖類溶液的濃縮和回收等。

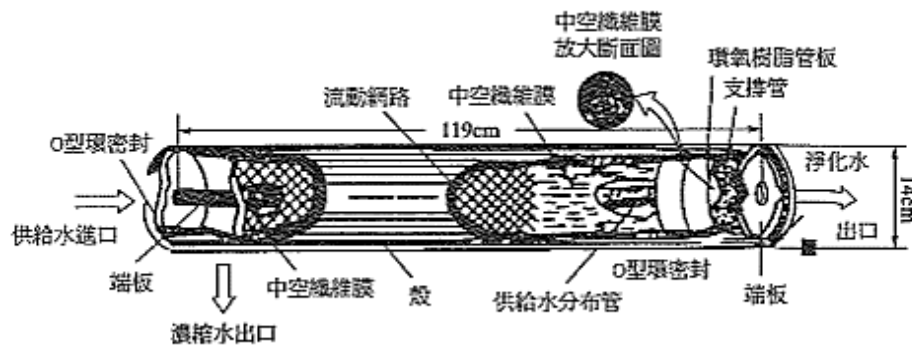


圖 6 中空纖維反滲透膜裝置示意圖

- ⑤中空纖維氣體分離膜：這是一種具有混和氣體分離功能的中空纖維分離膜。分離元件的驅動力為壓力差，操作壓力為 $0.098\sim 9.8\text{MPa}$ ，利用透過率差來實現氣體的分離，透過物質為氣體或蒸氣。中空纖維分離膜的製取主要是採用中空噴絲板通過乾—濕紡或熔紡成纖維。其中，聚醯亞胺和芳醯胺可直接製得非對稱膜，而聚砜等紡成多微孔中空絲後，還要塗覆一層超薄的有機矽類分離膜，而聚丙烯中空纖維則無需塗膜。氣體分離膜的主要用途是空氣中的氧氮分離，天然氣濃縮回收氫氣，甲烷或二氧化碳的回收或提純，合成氨尾氣中氫氣的回收，乙醇脫水，乙烷、甲烷和乙烯混合氣的分離，氧化合成醇時 H_2 和 CO_2 比

例的調節，水蒸氣的分離，硫化氫和碳酸氣的分離，以及人工肺等。此外，還有一種專門用於醫療方面的中空纖維膜，類似於植物纖維的中空纖維微管。其結構可為均相、不對稱和微孔膜，根據需清除物質的分子量大小及應用方法而選用。這種纖維膜的特點是效率高，而且可自支撐。效率高的原因是由於它堆積密度高及血液接觸面積大，這種纖維（如圖 7 所示）主要用於血液透析、過濾、分離及血氣分離和交換。

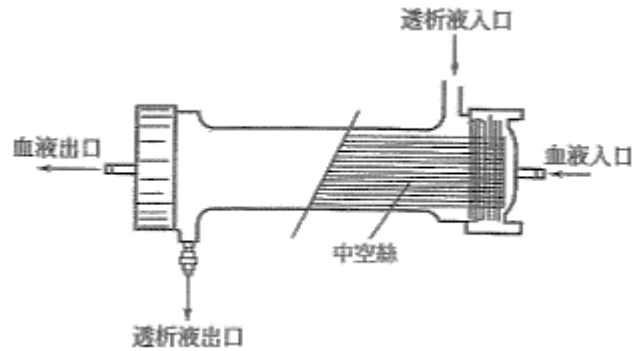


圖 7 中空纖維人工腎示意圖

15. 可供黏接用—低熔點纖維

低熔點纖維就是熔點較低的纖維，又因其主要是作黏接劑，又名熱黏合纖維、易熔纖維、黏結性纖維、纖維狀黏合劑。指在不織布等纖維網中起黏合作用的水溶性或低熔點的化學纖維。低熔點纖維的熔點一般在 $90\sim 180^{\circ}\text{C}$ 左右。熔點最低的是聚乙烯(PE)，熔點為 $125\sim 141^{\circ}\text{C}$ ，其他低熔點纖維多數為改性聚合物，如改性聚醯胺、改性聚酯等。最早研製的低熔點纖維為雙組分皮芯型複合纖維，如 PE/PP、PE/PET 以及共聚 PET/PET 等。目前，常用的低熔點纖維品種較多，現將常見的幾種低熔點纖維列於表 4 中。當將摻有低熔點纖維的化纖網加熱到低熔點纖維的熔點時，低熔點纖維熔化並集合在不熔基體纖維的交叉點上，經加壓等處理後，不熔的基體纖維便被黏合在一起；冷卻後，熔化組分凝固，不織布加工完成。

表 4 低熔點纖維的質量標準

項目 纖維名稱	線密度/dtex	熔點°C	結構組成
PET	2.2	110	單一全熔
PE	6.6	130	單一全熔
PET/PET	1.7~16.5	110~220	皮芯·並列
PET/PE	2.2~4.4	130~140	皮芯
PET/N	1.7~6.6	190	皮芯
PP/PO	1.7~8.8	96~134	皮芯
PET/PO	2.2~6.6	96~167	皮芯
PP/PE	0.99~71.5	110~130	偏芯
PP/PP	2.2	140	皮芯
N/N	1.7~6.6	14~220	皮芯

註：1.短纖 5~128mm，也可加工成長絲。顏色有透明、消光、原液染色等。

2.PET-聚酯；PE-聚乙烯；PP-聚丙烯；N-Nylon；PO-環氧乙烷。

(1) 低熔點纖維分類：低熔點纖維一般可分為三種類型：

- ①黏合劑纖維：通常指未經拉伸等加工的無定形聚酯初生絲，在摻和成網後，提高溫度使達到約 100°C 時，該纖維表面軟化，成為具有黏性的黏合劑，使纖維網固著，即得不織布成品。
- ②皮芯型複合纖維：芯層為高熔點，皮層為低熔點，如 ES 纖維（由聚丙烯為芯層、聚乙烯為皮層形成的複合纖維），在成網後將網的溫度提升到約 140~150°C，便能使交絡點熱熔而黏合，再行冷卻，即得不織布成品。
- ③熱熔性黏合纖維：如 PVA，係氯乙烯—醋酸乙烯共聚纖維，軟化點為 45~70°C，能為聚纖維的不織布等起熱黏合作用。

(2) 低熔點纖維的性能：低熔點纖維具有熱熔膠的性能，即在較低或特定的溫度下，通過熱壓、熱風、熱水達到自身或與其他纖維牢固黏合。在黏合固化時無毒、無味、不污染環境。同時要求有較低的玻璃化溫度、較快的結晶速度、較低的分子取向度、收縮率小。黏合後有一定強度，且硬度、蓬鬆性、柔軟性可根據用途不同而調整。

(3) 低熔點纖維的用途：低熔點纖維的用途很廣，主要應用於不織布的黏合，可用於製造電子、保暖絮片、襯布、醫用衛生材料；在服裝和產業用紡織品方面也有廣泛的用途，如碳纖維、玄武岩纖維、玻璃纖維單向布的固定、各種濾布、濾芯以

及汽車內飾的黏合帶等；用作裁縫線可封閉針眼、防羽絨鑽出，防寒服、羽絨被的絨縫用；用於針織服裝的收邊可防毛圈散開；用於高級服裝貼角邊襯、褲腳黏結，不見針眼的縫接；用於繩、帶、線固定撚度，防花線散開。

16.能溶於熱水—水溶性聚乙烯醇纖維

水溶性纖維是一種能在水中溶解或遇水緩慢水解成水溶性分子(或化合物)的纖維，屬於功能性合成纖維，較有代表的水溶性聚乙烯醇(PVA)纖維，商品名為水溶性PVA纖維，此外還有海藻纖維、羧甲基纖維素纖維等，茲將各種水溶性纖維性能比較列於表5。

由表5知，從纖維的原料、性能、製造方法以及生產成本等各方面進行綜合比較，在這些水溶性纖維中，最有發展前景、應用最廣、生產量最高的要屬水溶性聚乙烯醇纖維。其他品種發展較少，其性能和成本無法與水溶性聚乙烯醇纖維相比較。

表5 各種水溶性纖維的性能

項目 原料	類型	溶解溫度 / °C	乾強力/ (cN/detx)	乾伸率 / %
PVA	SOLRON-SH	90	3.5	12
	SOLRON-SL	55	2.6	20
	SOLRON-SS	<20	1.8	35
海藻酸	鈣鹽	<20	0.97	14
纖維素	氰乙基化	30	0.44	15
聚氧化乙烯	相對分子質量 4×10^5	<20	0.26	70

(1) 水溶性聚乙烯醇纖維的性能與特點：PVA的化學分子式為 $(C_2H_3OH)_n$ ，因其大分子主鏈上有許多親水性的羥基，因而導致纖維具有優良的水溶性和高親水吸濕性。水溶性聚乙烯醇纖維的公定回潮率為5%，在合成纖維中目前是最高的。

①水溶性：PVA是一種水溶性高分子物，其水溶性取決於它的化學組成和結構。也就是說，PVA纖維的水溶性除和原料PVA的性質密切相關外，在製造加工過程中所採用的加工方式及其形成的結構，也具有決定性的影響。在水溶性聚乙烯醇纖維的生產過程中，主要靠控制濕熱拉伸、預熱、乾熱拉伸、熱定型的成型、拉伸和熱處理條件來調整水溶性聚乙烯醇纖維的水溶溫度。其中，降低乾熱拉伸倍數，可使纖維的結晶度降低，從而降低纖維的水溶溫度。聚合度不同的纖維，其性能也會產生一定的差異。一般而言，聚合度低，纖維的強度也

會相應降低。

水溶性聚乙烯醇纖維的溶解過程可分為兩個基本步驟：第一步為膨潤收縮，將水溶性纖維或其織物放在一定溫度的熱水中，隨著水溫的增高，纖維逐步吸水膨潤，隨之產生收縮；第二步為溶解分散，當水溫繼續升高，纖維達到最大收縮率時，纖維就被溶斷成膠狀片段，進一步升高水溫或延長處理時間，則 PVA 就以分子形式溶解分散而成為均勻的溶液。由此可見，標誌水溶性纖維溶解過程的主要參數是溶解溫度、溶解收縮率和溶解時間。

②物理力學性能：水溶性纖維除用作高吸濕衛生用品外，通常都不作為結構材料而保留在最終成品中，它們總是在加工過程的某一階段為了取得某種效果而被溶去。因此對其物理力學性能沒有較高的要求，但應滿足紡織加工的要求，必須具有一定的強伸度。

③高吸濕性：由於在 PVA 分子鏈上有許多親水性的羥基，因此具有很高的吸濕性。吸濕後的纖維，其物性會發生變化，空氣濕度對水溶性纖維的物理性能有較大影響，尤其是溶解溫度較低的水溶性纖維，其影響更為明顯。有時人體上的汗液也會產生作用，使織物有黏濕的感覺。因此，對水溶性纖維而言，應特別注意其溶解溫度及因其濕度而引起的物性變化，可通過原料的選擇和採用合適的加工方式來提高水溶性纖維的尺寸穩定性。

④環保性能：水溶性聚乙烯醇纖維不僅具有理想的水溶溫度、強度及良好的耐酸、耐鹼和耐乾熱性能，而且溶於水後無味、無毒、水溶液呈無色透明狀，能在較短的時間自然分解，對環境不會產生任何污染，是名副其實的綠色環保產品。

(2) 水溶性聚乙烯醇纖維的用途：水溶性聚乙烯醇纖維主要在工業、農業、國防、醫療等領域獲得應用。在工業方面如造紙、不織布、紡製細支棉紗、毛紗（用手織製高級輕薄棉、毛織物）、紡製無撚棉紗等領域；在農業方面如用於育秧等；在國防領域用於水上布雷及製作降落傘等；在醫療領域可用於製作特種工作服等。

17. 環境保護—離子交換纖維

離子交換纖維主要是指具有離子交換、吸附、配合螯合、反應性催化等功能的纖維。它是由一種具有離子交換性基團的高分子聚合物製成，屬於具有離子交換功能的特種纖維。和其他離子交換材料一樣，它本身帶有活動離子，當和溶液接觸時，則活動離子可與溶液中相同符號的離子進行交換，故又稱化學吸附纖維。離子交換纖維多為高分子合成纖維，其大分子長鏈上帶有相應的可用作離子交換用的官能團，即本身含有固定離子及和固定離子符號相反的活動離子。按其交換離子的種類，可分為強酸性陽離子交換纖維、弱酸性陽離子交換纖維、強鹼性陰離子交換纖維、弱鹼性陰

離子交換纖維、陰陽兩性型離子交換纖維。以常用 PVA、PAN、PVC、PP 等合成纖維為基體，經大分子化學轉換或接枝、活性單體聚合成纖維、聚合物混合成纖維等。其交換基團有強酸、弱酸、強鹼、弱鹼、兩性、氧化還原、螯合等。

(1) 離子交換纖維或其他離子交換劑的工作原理：當水通過陰、陽離子交換纖維（或離子交換劑）處理時，含有可交換性的活性基團中的 H^+ 或 OH^- 等易被陽離子（如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）雜質或陰離子（如 Cl^- ）雜質置換，固定在樹脂上，離子交換樹脂中的 H^+ 和 OH^- 互相結合生成水，使氣體或液體中的雜質離子大大減少，從而達到純化之目的。因此，製取離子交換纖維的關鍵是要在一般纖維高聚物的分子鏈中引進具有離子交換性的活性基團，如酸性基團— SO_3H 、— $COOH$ 以及鹼性基團— NH_2 、— $CH_2N(CH_3)_3$ 等。一般是先製取聚合物，然後經化學反應或接枝改性等措施引進離子交換基團。通常可採用以下方法：

- ①將離子交換基團以置換的方法引入到纖維的分子鏈上；
- ②將具有離子交換功能的單體接枝共聚纖維或織物上；
- ③採用含有離子交換基團的聚合物紡製成纖維或與其他聚合物一起製成複合纖維。

(2) 離子交換纖維的性能：離子交換纖維的強度為 $0.07\sim 0.26N/tex$ ，延伸度為 $10\%\sim 60\%$ ，耐酸、鹼和有機溶劑性好，在水中不膨潤，具有撓曲性及一定的濕強度。纖維比表面積相對較大，離子交換的效率、吸附能力、淨化率都較高，洗脫速度快，其吸附速度比顆粒狀離子交換劑要高 $10\sim 100$ 倍，尤其是在開始階段的吸附速率較高，具有較好的化學穩定性。它的強度雖低於一般的化學纖維強度，但仍可滿足紡織加工和使用上的要求。它的強度主要取決於聚合條件、化學活性基團的數量和體型網狀結構的密度。

(3) 離子交換纖維的用途：由於離子交換纖維具有較大的比表面積，更有利的吸附和再生空間，因而離子交換效率高、用量少、交換速率很高，具有與常規離子交換相似的選擇性和離子交換容量，而且可以將離子交換纖維加工成織物，因而可進一步擴大其應用範圍，如用它可吸附一些特殊的氣體，使其在廢氣的處理上發揮更大的作用。加之它還具有抗滲透衝擊性好、可控制處理壓力以及洗脫速度快等特點，因而得到了廣泛的應用。

- ①用於淨化、分離氣體：用離子交換纖維加工成的織物，具有透氣性和有毒物質不透過性好的特點，淨化空氣中的有害氣體（如吸附氣體中的二氧化碳、二氧化硫、氯化氫、氨氣等），可用作防毒面罩，呼吸器具、通風過濾材料、氣體分離設備的遮蓋材料等。

- ②用於淨化水溶液：由於離子交換纖維的比表面積大，交換和洗脫速度快，因此非常適應於水溶液中微量的物質或有毒物質的淨化，可使水溶液得到深度淨化。經過使用的纖維還可進行再生，重複使用。可用於製備超純水、海水淡化、工業廢水的淨化（如電鍍廢水、煉鋼廠的廢酸、造紙廠的紙漿黑液，紡織廠的廢氫氧化鈉和城市生活污水等），從海水提取或淨化礦坑水中的微量鈾，從廢液或稀土中提取貴重金屬放射性物質等。
- ③用於冶金行業提取貴重金屬：冶金行業主要採用由纖維素纖維變性製得的陽離子交換纖維、聚丙烯腈陰離子交換纖維和活性炭纖維，在廢液中回收包括鎘、鈷、銅、汞、鉛、鋅和金、銀等元素在內的多種貴重金屬。多孔性聚丙烯腈離子交換纖維、聚四氟乙烯纖維等可以回收鈷、鈾等放射性元素。
- ④在紡織行業中的應用：可用於化學反應中的高分子催化劑，製造抗菌、除臭紡織品、吸濕放熱服裝、防輻射用品等。
- ⑤在生化工程中的應用：可用來提取大分子量胰島素、血清蛋白檸檬酸、谷氨酸等，也可用於過濾動物體內的膽紅素、膽質酸等。
- ⑥其他用途：在食品工業中可進行脫色、去味、吸附農藥殘留物，在農業上可用於含多種營養成分的無土栽培。另外，還可淨化空氣中的有害氣體，如吸附氣體中的二氧化碳、二氧化硫、氯化氫、氨氣等。離子交換纖維還可用於海水提鈾、鈾礦的探測、原子能反應堆含放射性循環水的處理、香菸過濾嘴；超細離子交換纖維還可用作酶的固定載體。由它還可衍生出殺菌纖維、導電纖維和抗靜電纖維等。

18.提高人們健康水平—醫用保健纖維

所謂醫用保健纖維，是指能保護人體不受微生物侵害或具有某種保健療效的纖維。在使用時，它直接與人體組織接觸，不僅要滿足醫療用品的一般性能要求，而且還要滿足下列一些特殊要求。

- (1) 對人體安全可靠。應具有特定的化學性能和生物性能，前者包括吸水性、溶出性、吸附性、緩釋性、生物降解性、耐藥性、耐氧化性等，後者包括毒性、消炎性、凝血性、抗原性、過敏性、溶血性、致癌性等。無論所有醫用紡織品是皮膚接觸型，還是血液接觸型，或是體內植入型，都涉及對人體的安全與可靠。如材料選用不當或材料出現問題，有可能因其性能的影響而形成諸如感染壞死、慢性炎症、形成血栓、緩釋毒性、誘發癌症、皮膚過敏、循環障礙、神經麻痺等人體局部反應。因此，要求化學纖維呈惰性，纖維的強度和彈性等物理機械性能不會因血液和生理液的影響而改變。

- (2) 耐消毒性良好。對醫用紡織品要求無毒性且也不會產生毒性，而且都要進行消毒滅菌，以杜絕感染，這就要求能經受消毒而不會發生物理性能變化和化學變性。
- (3) 耐熱性能和耐藥品性能優良。要求醫用保健纖維不產生異物反應，不破壞鄰近組織，不引起過敏反應或干擾機體的免疫機能。
- (4) 醫療功能性好。包括三個層次：一是有效性，在醫療應用中必須具有特定的功效，這種功效包括吸水、吸血、吸藥、吸膿等吸液性能；止血、止痛、防感染和具體療效等藥藥性能；縫合、包覆、固定、隔離等機械性能；通透、分離、吸附、輸送等選擇性能。二是方便性，在有效的基礎上，要求加工容易、使用方便、盡量減少患者的麻煩和痛苦，如繃帶的防水性、防滑性、自黏性、彈性和可固定性等；紗布的藥效性、不黏性和可開合性等；縫合線的光滑性、易拆除性和生物吸收性等。三是舒適性，使用後患者感到舒適，如蓬鬆、纖細、柔軟的接觸感覺；透濕、透氣、乾爽的不悶感覺以及抗菌、消臭和防污等衛生性能。

用於人體醫療、保健的醫用保健纖維是一類高科技的纖維，對纖維原料的選擇和纖維的製取都有一套嚴格的要求。纖維的製取一般有三種方法：

- (1) 藥物與纖維進化學結合，即纖維的化學改性法。通常是採取在聚合時或紡絲後使藥物與纖維聚合物化學結合的方法。
- (2) 將藥物固定在纖維的微細結構內，即纖維的物理改性法。一般是將藥物與高聚物進行混合紡絲，使藥物分散而固定在纖維的細微結構內。
- (3) 在形成纖維後的加工過程中，將藥物通過某種媒介附著於纖維上。其中以化學改性法最為重要，例如通過聚合物的轉化或接枝共聚，賦予纖維某種醫用功能。由此而獲得的性能具有效用持久和穩定的特點。採用的纖維和藥物均應無毒並含有反應性基團。

醫用保健纖維的品種很多，主要有以下幾種。

- (1) 抗菌防臭纖維：在人們的生活環境中，細菌無處不在。在人體皮膚及衣物都是細菌滋生繁衍的場所。這些細菌以汗水等人體排泄物為營養源，不斷進行繁殖，同時排放出臭味很濃的氨氣。所謂抗菌防臭纖維（又稱抗微生物纖維）是指對微生物具有滅殺或抑制其生長作用的纖維。它不僅能抑制致病的細菌和霉菌，而且還能防止因細菌分解人體的分泌物而產生的臭氣。通常是將普的合成纖維進行改性而成，即在纖維成形或纖維加工過程中進行抗微生物處理。它可以對纖維表面進行抗菌劑的處理（如 PAN 在纖維成形後，在初生絲乾燥前將其浸漬於硝酸汞浸液中，再經過後加工製成），也可以將抗菌劑與聚合物共混紡絲（如 Nylon 在熔融紡絲時，加入脂肪族的有機鎘鹽製成半永久性抗菌 Nylon 等），使纖維內部含

有抗菌劑。因為抗菌劑具有殺滅微生物的效果，同時也帶有一定的毒性，因此必須在安全範圍內使用，其毒性檢驗數據必須得到醫學衛生部門的認可。對於嬰幼兒使用的紡織製品，為了確保安全起見，一般不得進行抗菌防臭處理。

抗菌劑的種類很多，主要有：有機矽季銨鹽；芳族鹵化物；烷基胺系；酚醚系和無機物系。近年來，在聚合物中添加以天然物質為載體的無機殺菌劑微粉，已成為製造抗菌防臭纖維的主要方法。目前廣泛採用抗菌沸石作為無機殺菌添加劑。

沸石的化學分子式為 $xM_{2/n}^{2+} \cdot O \cdot Al_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot 3H_2O$ ，式中 M 為金屬離子，n 為其原小價。具有殺菌效力的金屬離子有 Ag^+ 、 Cu^+ 、 Zn^{2+} 等。採用銀、銅、鋅的鹽類水溶液與沸石進行離子交換，使沸石中的 M^{n+} 被 Ag^+ 、 Cu^+ 、 Zn^{2+} 所取代，即成為抗菌沸石。

由於沸石極易吸附水分，故抗菌沸石微粉在添加之前應先進行乾燥，並在高溫真空下除去結晶水，以防止在與聚合物共混及紡絲中產生聚合物水解現象。在使用時，抗菌沸石中的 Ag^+ 、 Cu^+ 或 Zn^{2+} 以一定的速度溶出，慢慢地遷移到纖維表面，並進入與紡織品接觸的細菌的細胞內，與細菌繁殖所必需的酶結合而使之失去活性。沸石本身是一種無毒物質，對人體是安全的，但對肺炎桿菌、葡萄球菌、綠膿桿菌、枯草桿菌等多種細菌及霉菌具有殺滅的功效。尤其是對金黃色葡萄球菌 (MRSA) 具有良好的抑菌作用，但 MRSA 易產生耐藥性，是醫院內引起病人交叉感染的元凶。殺菌沸石所具有的特性決定了其使用的場合，如它具有較好的耐熱性，故常用於聚酯、聚醯胺等熔體紡絲聚合物。同時又具有耐有機溶劑性，故也可用於溶液紡絲的聚丙烯腈。經過特殊處理製得的殼聚糖也是一種較為理想的添加型抗菌劑，屬於安全性的天然物質，對 MRSA 具有較強的抗菌性。

抗菌除臭纖維的製造是先將抗菌沸石或殼聚糖微粉分散於紡絲溶劑中，再以一定比例加入到紡絲原液中進行紡絲，經凝固、拉伸、水洗、乾燥等過程成絲。其紡織製品主要用於：

- ①醫療：無菌手術室、手術帽、無菌病房床上用品、新生兒室用品、特別病房用品、病員服、無菌工作服等；
- ②服裝：內衣褲、運動衫褲、鞋墊、鞋襪、襪及軍服等；
- ③藥品：注射液、片劑製造及醫療器具製造等；
- ④食品：肉食加工、乳製品加工等；
- ⑤農畜牧業：栽培、農藥、酵母製劑等；
- ⑥室內裝飾：窗簾、地毯、椅罩、沙發布、台布、壁布、屏風等；

⑦日用雜品：寢具、被褥、毛巾、手帕、浴巾、抹布、布玩具等。

(2) 止血纖維：又稱止血劑，是指與出血創面接觸時具有優良的黏附性和凝血功能的纖維，在出血時能加速血液的冷固作用。止血機理是其優良的黏附性與柔軟性，能緊密地與出血面黏結，既能將出血創面的毛細管末端黏結而封閉，又能使血液迅速滲入多孔的纖維內部，促進血小板起凝血作用，達到止血的目的。

止血纖維主要品種有四類：第一類是由人工合成的新型優質止血劑，即羧甲基纖維素止血纖維，以羧甲基纖維素鈉與非離子型表面活性劑（如硬脂酸山梨醇），在酸性條件（pH 值為 3~7）下製成，再與其塗覆於消毒紙上，乾燥後即成。纖維的基本性能是：線密度 1.67~2.22 dtex，斷裂強度 13.25~22.08 cN/dtex，伸長率 15%~25%，初始模量 442~512 cN/dtex，密度 1.50~1.52 g/cm³。該纖維無毒，不含有危害人體生理機能的毒素，並經嚴格的消毒。具有吸收性，羧甲基纖維素本身具有優良的可溶性，如將該纖維包紮在人體或動物的傷口處或放入肌肉內，能逐漸與肌肉和血液分子相互滲透和擴散，溶解於人體的組織液中，最終被人體所吸收。第二類是聚乙烯醇止血纖維，它是以聚乙烯醇為基質，常採用濕法紡絲，在紡絲過程中將具有止血作用的藥物引入纖維內。可以製成止血條、止血帶等，廣泛應用於一般的緊急外傷處理，使用非常方便。第三類是聚羧基乙酸高分子氈。其製造方法是把特性黏度為 1.05 的聚羧基乙酸抽成 2.2 dtex 細絲，並切成 38mm 的短纖維，用蒸氣噴散，自由落下，黏成一種毛氈狀材料，也可把這種材料製成海綿狀物質，稱為高分子止血海綿。第四類是海藻纖維，也稱鹼溶纖維或藻蛋白纖維、藻朊酸纖維。它是由海藻中提取的藻酸製成的纖維，通常採用濕法紡絲，用於吸收止血敷料。由於其優良的黏附性和柔軟性，並能緊密地與出血面黏結，使出血創面的毛細管末端黏結而封閉；又因血液容易進入多孔的纖維結構的空隙中，促使血液裡的血小板凝結，從而達到止血的目的。

止血纖維除具有優良的黏附性和凝血作用外，還應具有以下性能：

①無毒性，不僅纖維本身不能含有任何有害人體生理機能的毒素，而且還要經過嚴格的消毒；

②吸收性好，要求纖維本身具有優良的可溶性，能逐漸與肌肉和血液分子相互滲透和擴散，最後被肌肉吸收。

(3) 活血保健纖維：是指對人體具有改善為循環、促進血液循環和新陳代謝作用的纖維。通過改善人體的為循環，最終達到防病治病、強身健體的功效。現代醫學證明，人體的高血壓、糖尿病、心腦血管等疾病，甚至疲勞乃至肌膚的美容都是與人體的血液微循環分不開的。在正常情況下，微循環血流量總是與人體組織、器

官的代謝水平相適應的，從而保證了人體內各器官生理機能的正常運行。當微循環發生障礙時，就會導致血流量不足，最終造成人體組織器官的功能不全或衰退，從而誘發多種疾病。近年來，開發成功的微元生化纖維，是一種具有活性保健功能的纖維，其製取方法是在化學纖維製造過程中，將具有特種性能的含有多種天然礦物元素的超細微粒均勻地分布在化學纖維中，然後再將這種纖維與棉纖維混紡成紗，進而做成集保溫、美觀及保健於一體的高科技產品。微元生化纖維是在PET、Nylon、PP等紡絲時加入以鋯、矽、鉍的氧化物及微量的鈉、鐵等元素為主的微粒於纖維中製成的。

- (4) 防風濕纖維：是指某些能產生負電荷，並因此能減輕風濕病患者病情或病痛的纖維。它具有低導熱和能產生高電位差的特點。PVC和氯化聚乙烯纖維等屬於這一類纖維，具有保溫性好、吸濕性差、易積聚電荷等特性。採用濕法或乾法紡絲製取。用這種纖維加工製成的內衣，能在關節處因摩擦而產生大量負電荷，產生一定強度的電場。這種電場可作用至關節的深處，激發人體的生物電流，促進血液循環，從而達到防病和鎮痛的效果。
- (5) 抗炎症纖維：這種纖維具有干擾炎症反應機理的功能，能抑制和滅殺傷口的細菌，因而有消炎的作用。
- (6) 麻醉纖維：這種纖維具有麻醉藥物的功能，能有效地降低機體的疼痛感。
- (7) 抗凝血纖維：這種纖維具有很高的抗凝血性，可用於預防靜脈手術時形成血栓，也可用來製造人工血管。屬於這類纖維的有聚磷腈抗凝血纖維和其他的相關產品。
- (8) 免疫抑制纖維：在外科手術時，包括皮膚移植和內臟器官移植等，用於解決組織免疫反應。
- (9) 抗腫瘤纖維：這種纖維具有抗腫瘤作用或延長局部的抗腫瘤作用，可防止或阻緩病人手術後發生腫瘤轉移。
- (10) 抗燙傷纖維：把這種纖維覆蓋於燙傷表面時，能促進創傷面的修復，有助於病人的早日康復。
- (11) 含酶纖維：這種纖維常用於治療某些危重疾病。它是將一定種類的酶引入並固定在纖維中的纖維。