

知识介绍

智能纤维的设计思路及制备技术

沈新元

(东华大学材料科学与工程学院纤维材料改性国家重点实验室, 上海 200051)

摘要:智能纤维在材料领域中具有重要的地位和独特的用途。本文综述了智能纤维的总体设计思路, 包括仿生学、分子设计和复合技术; 讨论了智能纤维的主要制备技术, 包括智能成纤聚合物直接纺丝、接枝共聚、交联、共混与添加、复合纺丝与杂化、高分子化学反应以及后处理等; 并建议我国应该重视智能纤维的研究开发。

关键词:智能; 纤维; 设计; 制备技术

近年来, 一类新颖的纤维——智能纤维(Intelligent Fiber, Smart Fiber), 正日益受到世界各国的重视^[1~5]。迄今为止, “智能纤维”尚无确切的学术定义, 一般是指受外界或环境作用(刺激)而能做出响应的纤维状材料。这类纤维是纤维科学与智能材料科学交叉的产物。一方面, 它象其他智能材料一样, 能够感知环境的变化或刺激(如机械、热、化学、光、湿度、电磁等), 并能做出响应^[3]。另一方面, 它具有普通纤维长径比大的特点, 因此是一种一维智能材料, 其力学性能比水凝胶等三维智能材料有较大的提高, 能加工成多种产品, 从而具有很好的实用价值。因此, 智能纤维在材料领域中具有重要的地位和独特的用途。人们相信, 这类纤维所具有的奇妙功能与人类的智慧相结合, 必将为未来的产业和人类生活注入新的活力。下面简单介绍智能纤维的设计思路及制备技术。

1 智能纤维的设计思路

由于纤维的智能化是一个崭新的研究领域, 所以很难描述设计智能纤维的全部具体方法。不过, 智能纤维的总体设计思路, 一般涉及以下三个方面。

1.1 仿生学

智能纤维的研究, 与其它智能材料一样, 仿生学是其出发点^[6~8]。

生物体的最大特点是对环境的适应, 从植物、动物到人类均如此。自然界中的生物已有数亿至数十亿年的历史, 它们不断地进化, 在智能方面已达到最佳状态, 因此是智能材料研究的方向和样板, 并且会对智能材料的研究提供丰富的科学和技术资源。细胞是生物体的基础, 可视为具有传感、处理和执行三种功能的融合材料, 因此人们可以利用仿生学的原理, 以细胞作为智能材料的蓝本, 开发出向生物体的多重功能逼近、功能上接近甚至超过生物体组织的智能生物材料^[6,7]。

目前, 大多数关于智能生物材料的研究工作是研究生物系统和生物分子的机理, 它们是开发具有各种智能程度的新型材料的新思路、新方法的重要源泉。Montal^[9]描述了一个智能生物材料的例子——槽状蛋白质, 它具有真实的极性通道, 能使离子有选择地通过非极性类酯化化合物的双层膜和感应结构, 能检测各种刺激, 并将它同通道的控制阀相结合。智能生物材料的例子, 还包括嵌入生物膜的分子接受器等。

在智能纤维的开发中, 人们也自觉不自觉地采用与智能生物材料类似的原理。例如, 模拟生物体神经, 人们开发了光学纤维^[7]。它基本上由两部分组成, 即高度透明的芯材和与之匹配的鞘材, 芯材的折射

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(20020255010);

作者简介:沈新元(1948—), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 从事高分子材料与工程的教学和科研工作, 已发表学术论文100多篇, 出版著作3部。

率必须大于鞘材。这样,当光通过纤维时能发生全反射,从而实现光能在光学纤维中的传送。在飞机一些关键部位预置光纤传感器后,能随时采集并传递各部分的动态数据、损伤部位及损伤程度给计算机;计算机经计算分析后,如发现问题,便可立即作出相应指令,开启执行元件进行自修复或者提出预警。这些动作与人的神经系统的工作模式十分相似。

人们已开始利用凝胶纤维来模拟动物肌肉。动物肌肉能通过三磷酸腺苷(ATP)将化学能直接转变成机械能,其效率高达 40%~50%。此时 1 分子 ATP 水解所产生的自由能要比热能大 10 余倍^[8]。人类肌肉的收缩率最大可达 60%,能产生 6~10 Kg/cm² 的力。单个肌肉纤维受刺激后,在 3~4s 后开始收缩。单个肌肉纤维的收缩叠加形成强收缩,其反应时间为 200~300ms。研究表明,由于凝胶的结构与生物体的肌肉组织十分相似,因此可以利用凝胶纤维在溶剂种类、温度、OH⁻ 浓度、pH 值等变化或在电刺激下发生变形、膨胀、收缩的特性,建立直接将化学能转变成机械能的系统,而不需经过中介而散发热量。例如, Umemoto 等^[10]用聚丙烯酰胺(PAAm)浓溶液在丙酮中纺成直径为 250 μ m 的纤维。若将丙酮换成水,则此纤维在 2s 内就会出现收缩。该纤维能制成溶剂敏感性人工肌肉。他们^[11-13]还用聚丙烯腈(PAN)纤维制成羧基和吡啶环共存的两性凝胶纤维。用直径为 222 μ m 的该纤维制成的 pH 响应性人工肌肉,收缩率为 70%~80%,在 1M 的 HCl 和 1M 的 NaOH 溶液中,可逆收缩和伸长的响应时间约为 2s,伸长和收缩产生的张力都是 10 Kg/cm²。

Hirasa 等^[14,15]制备的热敏聚乙烯基甲醚(PVME)凝胶纤维,平均直径为 200 μ m。该纤维在 38℃ 上下波动时呈现可逆的收缩和伸长,由 20℃ 的 40 μ m 收缩到 40℃ 的 20 μ m;可逆收缩和伸长的响应时间为 1s 级。用含有 1000 根该纤维的纤维束(长 15cm)制成的热敏性人工肌肉,能随着水温的变化,将重 100g 的东西提起 5cm 高。Katchalsky 和 Oplatka 等^[16-18]将羊毛纤维、骨胶原纤维在 LiBr、KSCN 浓溶液中处理后制得了相变型人工肌肉,其变形迅速有力,再现性和耐疲劳性好,在数分之一秒内能够收缩为原长度的一半,并发出约 10 倍于同等截面积天然肌肉纤维发出的力。

1.2 分子设计

开发智能纤维的主要途径是分子设计。根据其刺激响应机理,可以将智能纤维设计成只对一种因素的变化产生一种响应,也可以设计成对多种因素的变化只产生同一种响应,还可以设计成对不同因素的变化产生不同的响应^[1]。这里的分子设计,包括聚合物的结构设计和官能团设计。

对于根据聚合物的组成和结构预测其性能,已有一些方法,包括一些根据基本原则和半经验公式的理论计算^[19]。其中最成功的方法是分组叠加的计算,就是将聚合物重复单元分成亚单元,而每一个亚单元对于某一种聚合物性能的影响是已知的;将这些亚单元的作用简单叠加起来,就能极其精确地预测聚合物基智能纤维的许多性能,例如折射率、密度、摩尔体积、热容量、导热系数、内聚能和溶解性等。从头计算理论和半经验模型则可以用来计算智能纤维的响应功能。

分子设计完成后,要获得具有预定功能的智能纤维,通常有两种途径:合成智能化的成纤聚合物,然后纺制成纤维;或者对于现有纤维进行高分子化学反应,使其智能化。智能成纤聚合物,主要通过含有智能化基团的单体的加聚反应或缩聚反应制取。该法的优点是智能化基团含量高(每一个链节都含有智能化基团),智能化基团在分子链上分布均匀。但一般含有智能化基团单体的合成比较困难,因此其价格比较昂贵。通过高分子化学反应使现有纤维智能化,其主要优点为:聚合物骨架是现成的,可选择的聚合物母体多,原料来源广,因此其价格相对较低。例如,真丝、纤维素、甲壳素等天然聚合物和聚乙烯醇、聚酰胺、聚丙烯腈等合成聚合物,均可作为聚合物母体。但是在进行高分子化学反应时,反应不可能百分之百地完成,尤其在多步高分子化学反应中,产物中含有未反应的官能团;智能化基团在分子链上的分布也不均匀。尽管如此,目前大多数智能纤维还是通过该法制取。例如,上述做人工肌肉的 PAN 凝胶纤维,就是 Omemoto 等以普通 PAN 纤维为原丝,通过氧化和皂化制得的。Hongu 和 Phillips^[1]则将真丝浸入水解后的角朊和骨胶原中处理,制得了形状记忆纤维。

1.3 复合技术

许多物质或材料本身就具有智能。例如,一些物质或材料的性能(如颜色、形态、尺寸和机械性能等)

可以随环境或使用条件的变化而改变,具有自诊断、自学习和预见、刺激响应及识别信号能力;一些物质或材料的光性能、电性能和其它物理或化学性能可以随外部条件的不同而变化,因而除了具有识别和区分信号、自诊断、自学习和抗刺激能力外,还可开发成具有动态平衡及自维修功能的物质或材料;一些材料的结构或组分可随工作环境而变化,具有对环境的自适应和自调节功能。因此,将这些现有的物质或材料进行复合(包括后面将述及的共混、添加和杂化等技术),均可以获得智能纤维。

通常,一些混合规律可以用来预测材料的性能和功能。例如,运用经典的层压理论,可以预测层压材料的弹性。结合混合规律,分别考虑非晶区和晶区的性能,可研究半晶聚合物的压电常数^[20]。对于多相材料,全面了解各种张量系数之间的差异是很重要的。例如,多相体系的导电性,更多地依赖于导电相的逾渗的形成,而不是仅仅取决于导电相的体积分数;而其导热性对逾渗不太敏感。但是,简单的混合规律对于预测多相材料阶数更高的性能可能不适用。

Newnham 等^[21,22]对多相复合材料的设计进行了总结,归纳出了一些预测其功能的指导方针。例如,通过将复合材料中连续相的性能进行平均,并结合混合规律及串联和并联模型,可以得出其某些总和性能;两种性能不同的组分结合,会使复合材料产生第三种性能;当外界条件(如温度或压力)改变时,多相固体中发生的相转变能可产生新的功能;多孔性和内表面,使复合材料具有特殊的灵敏性。这些指导方针,对于通过复合技术开发智能纤维,应该也有较大的指导意义。例如,人们已利用聚乙二醇聚(PEG)的相转变能,开发出了蓄热调温纤维。

与分子设计相比,复合技术实施过程中不发生化学反应或只发生极小程度的化学反应,因此具有工艺简单、材料来源丰富、价格低廉的优点。目前,复合技术已广泛应用于智能纤维的研究和开发中。下面述及的光致变色纤维、热致变色纤维和蓄热调温纤维等都是通过复合技术制备并且实现规模化生产的。

2 智能纤维的制备技术

根据以上的总体设计思路,制备智能纤维材料的具体方法有很多。下面介绍智能纤维的几种主要制备技术。

2.1 智能成纤聚合物直接纺丝

通过分子设计合成智能化的成纤聚合物后,可以直接纺制智能纤维。例如,采用界面缩聚的方法,将含金属钛(或锆)的有机金属化合物与对苯二甲酸进行共缩聚,制得分子量为 $10^4 \sim 10^6$ 的聚合物,然后溶于适当的溶剂中,可以纺制热致变色纤维。该纤维在常温下呈黄色,加热后随温度变化呈不同颜色,可做测温仪表用的热敏元件^[23]。合成含硫衍生物的聚合物,则可纺成光致变色纤维。该纤维能在可见光作用下发生氧化还原反应,在光照和温度变化时,颜色可由青色变为无色^[24]。

2.2 接枝共聚

将一些具有特殊效应或功能的基团接枝到纤维中聚合物的侧链上或聚合物的一端或两端上,是制备智能纤维的主要的方法之一。例如,Karlsson 等^[25]采用臭氧活化纤维素,接枝丙烯酸(AA)单体制备了接枝型 pH 响应水凝胶纤维。有趣的是,不仅在纤维的表面接上了 PAA,在纤维内部也形成了三维网络,这从整体结构上提高了接枝水凝胶纤维的 pH 敏感性,同时也大大提高了其力学性能。Vigo 等^[1]以锰盐等复合引发剂,将分子量为 1000~4000 的 PEG 直接接枝于棉花、麻等的纤维素分子链上,制得了湿致形状记忆纤维。这些纤维湿态时会收缩,收缩率可达 35%,干态时恢复到原始尺寸。

聚(*N*-异丙基丙烯酰胺)(PNIPAAm)在水溶液中的最低临界溶解温度(LCST)约为 33℃,这种聚合物在 LCST 以下膨胀,在 LCST 以上收缩^[26]。作者指导研究生王艳玲^[27]将 NIPA 接枝于壳聚糖(CS)纤维上,制得了兼聚生物活性和热敏性的纤维,测得其在不同温度下退火处理 10h 的溶胀比在 33℃附近出现突变(见图 1)。通过加入第三单体并改变其含量和链长等,可以制得 LCST 不同的热敏纤维。

关于利用嵌段共聚,通过在聚合物之间形成氢键制备智能纤维,也已有报道。

2.3 交联

交联反应主要由官能度大于 2 的单体的聚合过程发生。也可引发大分子链产生可反应自由基和官

能团,从而使大分子间形成新的化学键。交联是制备自适应性凝胶纤维的主要方法。例如,日本工业科技机构工程实验室^[28]将高浓度(10%~15%)的聚乙烯醇(PVA)溶液与分子量为 170000 的聚丙烯酸酯类树脂混合,在-25~-45℃冷冻,然后融化,重复 10 至 20 次,直至 PVA 交联,成为橡胶状固体。他们将这种固体加工成直径为 1.8mm 的纤维,它能根据溶液 pH 值的变化而迅速膨胀和收缩。Masahiro 等^[29]专利设计了一系列热敏凝胶纤维的制备方法,如采用丙烯酰胺及其衍生物做敏感组分,与另外一种可交联组分组成混合溶液,采用湿法、干法纺丝技术制备纤维。通过化学、辐射和热处理等方法形成交联网络,具体方法有在凝固浴中加入交联剂戊二醛、纤维经真空热处理、UV-辐射、光-辐射等。Sun 等^[30,31]以 NaOH 溶液为凝固浴,采用湿法、干湿法纺丝技术制备了 CS-PEG 凝胶纤维,通过在凝固浴中加入交联剂环氧氯丙烷和戊

二醛形成交联网络。该凝胶纤维在直流电场作用下具有电场响应性,同时具有典型的环境溶液 pH 响应性。Shahinpoor^[32]用丙烯酸和丙烯酸钠(摩尔比为 1:1)的共聚物与双丙烯酰胺交联制成凝胶纤维。实验表明,凝胶纤维首先在电场作用下发生弯曲,最终又受 pH 值梯度的控制。上述的热敏 PVME 凝胶纤维,是 Hirasa 等用 γ -射线照射含热诱导相分离微区的轻度交联的 PVME 而制得的^[14,15]。Watanabe^[1]通过高能辐射使聚己内酯和丙烯酸酯单体交联而制备了形状记忆聚酯纤维。Vigo 等^[1]还以树脂整理等方法,将交联 PEG 吸附于聚丙烯、聚酯等纤维表面,制得了湿致形状记忆纤维。费建奇等^[33]采用氧化还原体系过硫酸铵/*N,N'*-四甲基乙二胺(APS/TEMED)为引发剂,在 PVA 水溶液中原位聚合 AA 单体,分别采用硫酸铵、硫酸钠饱和水溶液作凝固剂纺制了 PVA/PAA 纤维。采用热处理方法使 PAA 发生脱水酸酐化及 PVA 与 PAA 之间发生酯化反应,形成大分子之间的交联,制备了热诱导凝胶纤维;通过在凝固浴中加入交联剂戊二醛,制备了半互穿网络(SIPN)凝胶纤维。

2.4 共混与添加

将本身就具有智能化功能的聚合物、无机物或低分子有机物与成纤聚合物加以混合,然后以传统的单组分加工方法制备纤维,可以在尽可能不影响纤维原有性能的情况下,赋予其智能化功能。

制备光致变色纤维的方法之一,是在纤维中加入具有光致变色功能的化合物,如含结晶水的钴盐,就可利用阳光和温度的变化而实现不同色泽的特性。一般是先在聚合物中加入光致变色剂,然后再纺丝;或将光致变色体分散于纺丝熔体或溶液中进行纺丝;或将光致变色体通过界面缩聚封入微胶囊中,再与纺丝熔体或溶液混合后进行纺丝^[34]。例如,Merian^[35]将光致变色化合物加入 6cm 宽、30cm 长的聚酰胺长丝。该染色纤维含有 15mg/g 的偶氮染料,当暴露在氙灯下时,其长度缩短了 0.33cm。它能在分子水平将光能直接转化为机械性能。美国 Clemson 大学和 Georgia 理工学院等正在探索光纤中掺入变色染料,使纤维的颜色能够实现自动控制^[36]。东华大学材料学院^[37]采用淡黄绿色的 1,3,3'-三甲基螺[吡啶-2,3'-(3H)-萘并(2,1-b)(1,4)亚喹]为光致变色剂,与聚丙烯共混,制得了光致变色聚丙烯纤维。该纤维经紫外线照射后能够迅速由无色变为蓝色,光照停止,又迅速恢复无色,并且具有良好的耐皂洗性能和一定的光照耐久性。

制备热致变色纤维,可采用在纤维中添加热致变色显色剂的方法。一般是将添加热致变色显色剂的微胶囊(粒径为 5~20 μ m),直接与聚合物共混后纺丝。热致变色显色剂是由酸显色染料(给电子显色)、酸性物质(受电子化合物)及有机溶剂(反应介质)所组成^[34]。也可以将热致变色显色剂直接加入纺丝熔体或溶液,例如,日本帝人公司^[1]用粒径 5 μ m 的热致变色显色剂粉体加入聚酰胺熔体,制成了热致变色纤维。该纤维在 20℃ 显浅兰色,在 35℃ 不显色。

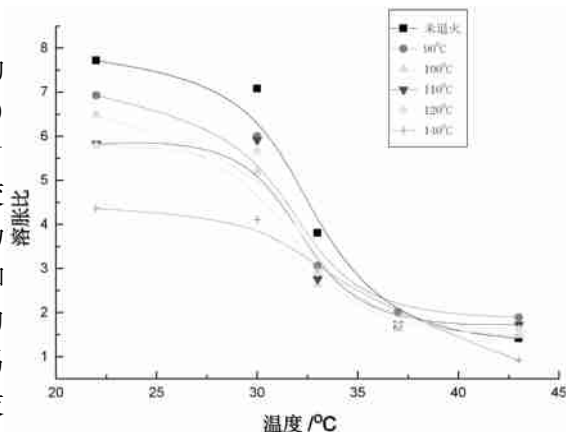


图 1 不同温度下 CS-g-NIPAAm 基纤维的溶胀比

Figure 1 The swelling ratio of CS-g-NIPAAm based fiber at different temperature

通过共混纺丝在纤维中引入相变材料或含相变材料的微胶囊,是制备蓄热调温纤维的主要方法之一。美国三角(Triangle)公司^[3]在 PAN 的湿法纺丝过程中加入 7%(质量分数)左右的蓄热调温微胶囊,通过喷丝板挤出制成纤维。微胶囊直接嵌入纤维内部,使微胶囊内的相变物质得以更稳定地存于纤维中。东华大学材料学院正在进行将 PEG 与醋酸纤维素和聚对苯二甲酸乙二酯共混制备蓄热调温纤维的研究^[38,39]。

2.5 复合纺丝与杂化

复合纺丝是将两种聚合物流体分别经各自的流道,在喷丝孔入口处混合后一并挤出。由于液流很快固化,所以不会混合,形成界面清晰的复合纤维。

据报道,通过复合纺丝制备光致变色纤维和热致变色纤维时,一般将热致变色或光致变色显色剂通过界面缩聚包含于微胶囊中,然后与低熔点聚合物(例如聚乙烯)混合作为芯部,高熔点成纤高聚物(例如聚酰胺、聚酯等)作为鞘部。也有将复合纤维经辐射后除去非敏感性组分的报道^[34]。例如,Clemson 大学纺织学院正在光致变色纤维领域进行的一项课题,是制造出可以调节颜色的复合纤维。通过将在电磁波可见区能发生颜色变化的分子、低聚物发色物掺入到纤维中或纤维上,再施加静态或者动态电场,就可以实现上述目标^[40]。天津工业大学功能纤维研究所通过石蜡烃熔融复合纺丝技术,研制出了相变物质含量在 16%以上,单纤维线密度为 5dtex 的蓄热调温纤维。

杂化的基本思想是将原子、分子集团在纳米数量级上进行复合。例如,一种对温度反应特别敏感的调温型防寒材料——热反应纤维,就是将纳米粉体加入常规纤维而制得的。由于纳米粉体的微粒效应,制得的杂化纤维可通过光束控制而在不同温度下进行“逆向补充能量平衡”;在高温环境下,纳米粉体控制和削弱原子和分子的运动,使织物更加紧密而产生对热量的屏蔽作用;而在低温情况下,纳米粉体同样可以控制原子和分子的运动造成屏蔽,防止外界低温对人体皮肤的伤害^[41]。

2.6 高分子化学反应

如前所述,通过分子设计,对现有的天然纤维、人造纤维或合成纤维进行高分子化学反应,可以赋予其智能化功能。上述做人工肌肉的凝胶纤维,就是这方面的范例之一。Omamoto 等将 60 根 PAN 纤维(单纤维直径 22.5μm)在 220℃的空气中定长进行氧化,导致聚合物链的重新组织并形成环状或梯状结构,由氰基与吡啶环交联形成平面网络;接着在沸腾的 1MNaOH 水溶液中皂化 30min,使纤维中的大分子链带上离子基团。该纤维具有 pH 响应性。Umemoto 等^[10]还将 PAAm 纤维经环化处理后去除未环化的部分及未参加反应的物质,干燥后得到 PAAm 凝胶纤维。该纤维在水中伸长,在丙酮中收缩。Katchalsky 等^[16]用盐溶液(例如 LiBr、KSCN 或尿素)处理羊毛纤维、胶原纤维使其交联结晶。处理后的羊毛纤维在 LiBr 的丙酮/水溶液中急剧收缩。

作者等^[42]以自制的超高分子量聚丙烯腈(UHMW-PAN)为原料,通过凝胶纺丝制得了一种内有贯通整个纤维的空腔,壁上有无数微孔的纤维,即多孔中空纤维;以该纤维为原丝,通过氧化制备了多孔中空氧化纤维,然后通过皂化制备了多孔中空凝胶纤维。图 1 显示了该纤维在一系列 pH 值下的平衡长度。在 pH 值增加过程中,在 pH=0~12 范围,试样仅有极小的伸长;当 pH≈12 时,伸长略有增加;pH 值为 13 时,试样陡然伸长。相反,在 pH 值下降过程中,当 pH 值从 14 降至 11 时,试样略有伸长;当 pH 值由 11 降至 2 时,长度几乎不变;当 pH 值低于 2 时,膨胀的试样突然急剧收缩。

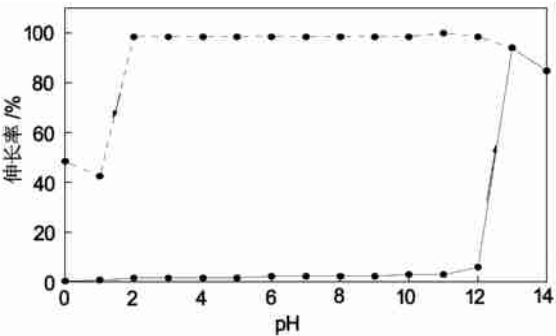


图 2 UHMW-PAN 基多孔中空凝胶纤维的 pH 响应程度曲线
——线:pH 值增加;——线:pH 值下降;
氧化:220℃,0.5h;碱处理:0.5MNaOH 溶液,20min

Fig.2 Equilibrium length of UHMW-PAN based porous oxidation fiber as function of pH(oxidation temperature 220℃; oxidation time 0.5h; ionic strength is controlled 0.5 by NaOH, time 20min).The symbols show ——;pH increase and ——;pH decrease.

由图 2 可知,试样的伸缩响应行为出现滞后现象,而这种现象在只含有阳离子或阴离子的凝胶纤维中并不出现,因此我们制得的中空凝胶纤维是一种两性凝胶纤维。由于对刺激介质的控制可通过该纤维中间的空腔进行,或将纤维组成组件后可从纤维内部和外部交替输入和抽出不同的刺激介质,因此其操作明显比将实心凝胶纤维浸在大量刺激介质中的方法方便。

作者的实验表明,可通过控制氧化温度和时间而改变 UHMW-PAN 基多孔中空氧化纤维的环化程度(表 1、表 2),从而控制多孔中空凝胶纤维的力学性能和 pH 响应性。

表 1 UHMW-PAN 基多孔中空氧化纤维的芳构化指数比较
Table 1 Comparison of aromatization index of UHMW-PAN based porous oxidation fiber

氧化温度/℃	芳构化指数(AI)
200	0.292
210	0.306
220	0.346
230	0.745
240	0.645

氧化时间 0.5h

表 2 UHMW-PAN 基多孔中空氧化纤维的芳构化指数比较
Table 2 Comparison of aromatization index of UHMW-PAN based porous oxidation fiber

氧化时间/h	芳构化指数(AI)
0.5	0.346
1.0	0.454
2.0	0.619
3.0	0.563
4.0	0.465

氧化温度 220℃

实验还表明,可以通过碱溶液浓度和皂化时间控制多孔中空凝胶纤维的力学性能和 pH 响应性。

2.7 后处理

用本身就具有智能化功能的物质对现有的纤维进行后处理,也可以赋予其智能化功能。例如,上述形状记忆真丝的制造,就是将真丝浸渍在水解蛋白质溶液中,然后将其去水干燥、卷曲、再在水中浸渍、最后在高压且潮湿的环境中进行热定型而制得的^[1]。

这方面的例子还有很多。日本小松精练公司^[43]利用聚酯等合成纤维,镀上具有调节温度功能的特殊蛋白微粒子(10nm)超薄膜,制成了蓄热调温纤维 Air-Techno。美国 Milliken 研究公司发明了聚吡咯涂纤维技术,通过气相沉积或溶液聚合的方法,将导电的聚吡咯涂层在纤维的表面,制成了作织物传感器的导电纤维^[3]。意大利 Pisa 大学则将聚吡咯涂层在聚氨酯纤维表面,制成的织物在受到外力拉伸后产生伸缩。当聚吡咯的导电性能产生变化时,通过可记录和分析电信号的变化,可探测出手指运动情况^[3]。

使用具有变色性能的染料或涂料赋予纤维光致变色性和热致变色性,是常用的后加工方法。如用二苯基硫代咪唑衍生物和钡等二价或三价金属化合物对纤维进行染色,得到的纤维受光照射时能从灰色变为青色。近年来,美国 Clemson 大学和 Georgia 理工学院等还正在探索改变光纤的表面涂层材料,使纤维的颜色能够实现自动控制^[36]。齐齐哈尔大学等用具有光致变色性的染料对聚酯和聚丙烯腈纤维进行染色,制得了光致变色纤维^[44]。

关于智能纤维的制备技术的报道还有一些,对此不一一赘述。

3 结语

智能纤维是一类新型功能纤维,在材料领域中具有重要的地位和独特的用途,它已引起国内外材料界的广泛关注,并且已经在服装、装饰和产业等方面显示了良好的应用前景^[45,46],其研究和开发正方兴未艾。展望未来的一、二十年,智能纤维将用于许多新产品,并将走向商业化。我国智能材料的研究和开发已经取得了一些成绩,但品种还比较单一,特别是智能纤维的研究起步较晚。我们应该重视对智能纤维的研究开发,加快其产业化的步伐。

参考文献:

[1] Vigo T L. J Text Inst, 1999, 90 (3):1.
[2] Litch P, Tassinari T H. J Ind Text, 2000, 29 (3):173.
[3] 陶肖明, 张兴祥. 棉纺织技术, 2002, (3):139.
[4] 周小红, 练军. 上海纺织科技, 2002, 305:11.
(c)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[5] 王艳玲,沈新元. 产业用纺织品,2003,21(2):42.

[6] 黄维恒, 闻建勋. 高技术有机高分子材料进展. 北京:化学工业出版社,1994,555.

[7] 贡长生, 张克立, 主编. 新型功能材料. 北京:化学工业出版社,2001,126.

[8] 马建标, 主编. 功能高分子材料. 北京:化学工业出版社,2000,353.

[9] Ahmad I, Crawson A, Roger C A, et al. Proceedings of U-S-Japan Workshop on smart/Intelligent Material and System. Hawaii: Technomic Pub Co., 1990, 34.

[10] Umemoto S, Okui N, Sakai T. Zairyo Kagaku, 1989, 26(1):42.

[11] Umemoto S, Itoh Y, Okui N, et al. Report on Progress in Polymer Phys, Japan, 1988, 31:295.

[12] Matsumura T, Umemoto S, Okui N, et al. Report on Progress in Polymer Phys, Japan, 1987, 30:323.

[13] Derossi D. Ploymer Gels. New York: Plenum press, 1991, 257.

[14] Hirasa O. Kobunshi, 1986, 35:1100.

[15] Kishi R, Hirasa O, Iohijo H. Zairyo Kagaku, 1995, 32(2):64.

[16] Katchaldky A. Biopolymers, 1968, 6:1149.

[17] Oplatks A. Biopolymers, 1968, 6:1159.

[18] Lowenstein W R. Principles of Receptor Physiology. New York: Springer Verlag, 1971, 1~17.

[19] Askadskii A A. Polymer Year Book, 1989, 4:93.

[20] Furukawa T, Aiba J, Kukada E. J Appl Phys, 1979, 50:5615.

[21] Newham R E. J Mater Edu, 1985, 7:605.

[22] Newham R E, Ruschau G R. J Am Ceramics Soc, 1991, 74(3):413.

[23] 师昌绪, 主编. 材料大词典. 北京:化学工业出版社,1994,783.

[24] 师昌绪, 主编. 材料大词典. 北京:化学工业出版社,1994,316.

[25] Karlsson O J, Gatenholm P. Polymer, 1999, 40:379.

[26] Tanaka T. Gels Sci Am, 1984, 224:124.

[27] 王艳玲, CS-g-NIPAAm 基热敏纤维的研制. 上海:东华大学,2003.

[28] 李青山, 韩毅, 王德昌, 等. 功能高分子材料在医疗保健中的应用. 哈尔滨:哈尔滨船舶工业出版社,1993,183.

[29] Masahiro H, Hirohide M, Satoshi Y. USP, 5011644, 1991.

[30] Sun S, Wong Y, Yao K D. J Appl Polym Sci, 2000, 76:542.

[31] Sun S, Mark A FT. J Appl Polym Sci, 2000, 39:236.

[32] Sahinpoor M. Smart Mater Str, 1994, 3:367.

[33] 费建奇. PVA/PAA 智能水凝胶纤维的研究. 上海:东华大学,2002.

[34] 周晓沧, 肖建宇. 新合成纤维材料及其介绍. 北京:中国纺织出版社,1998.71.

[35] Merian E. Text Res J, 1996, 36:612.

[36] Richard V G, Robert J. Natl Text Cent Ann Rep, 1999, (11):98.

[37] 冯社永, 倪恨美, 梁春梅, 等. 合成纤维, 1998, 27(5):20.

[38] 许文菊. 二醋酸纤维素/聚乙二醇相变智能纤维的研制. 上海:东华大学,2004.

[39] 周光宇. PET/聚乙二醇相变智能纤维的研制. 上海:东华大学,2004.

[40] Deflin E. Text Asia, 2002, (5):25.

[41] 李延强, 徐军. 产业用纺织品, 1994, 12(4):14.

[42] 沈新元. UHMW-PAN 基 pH 响应多孔中空凝胶纤维的制备及结构性能研究. 上海东华大学博士论文,2001.

[43] 小松精练. 加工技术, 2001, 36(12):742.

[44] 高洁, 权亚秀, 李青山. 产业用纺织品, 1994, 12(4):14.

[45] Mather R. Rev Prog Col, 2001, 31:36.

[46] 沈新元, 沈云. 合成纤维工业, 2001, 24(1):1.

(下转第 150 页)

[10] L·E·尼尔生·聚物流变学,北京:科学出版社,1983,22~26.

Analysis of Macromolecular Motion Characteristics from its Dependence on Temperature

ZHU Ping-ping, YANG Hai-yang, HE Ping-sheng

(*Department of Polymer Science and Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*)

Abstract: Macromolecular motion is one of the most fundamental and important issues in polymer science, and it is also a principle point in teaching. The issue is a bridge to connect the microstructure with physical properties of polymers. This paper mainly discusses the characteristics of macromolecular motion, especially the temperature dependence of motion. Therefore the relationship between structure and physical properties of polymers is better understood.

Key words: Macromolecular motion; Temperature; Mechanical state; WLF equation; Arrhenius equation

(上接第 113 页)

Research Progress of Magnetic Field Effect on Macromolecular Conformation

LI Hong, HU Dao-dao, FANG Yu, WANG Ming-zhen, GAO Gai-ling

(¹ *Key Laboratory for Macromolecular Science of Shanxi Province, School of Chemistry and Materials Science, Shanxi Normal University, Xi'an 710062, China;*

² *Xi'an University of Engineering Science & Technology, Xi'an 710062, China*)

Abstract: Research progresses of magnetic field effect on macromolecular conformation are reviewed in this paper.

Key words: Magnetic field; Macromolecule; Conformation

(上接第 141 页)

Design Thinking and Preparing Technology of Intelligent Fibers

SHEN Xin-yuan

(*College of Material Science and Engineering, State Key Laboratory for Modification of Chemical Fibers and Polymer Materials, Donghua University, Shanghai 200051, China*)

Abstract: The intelligent fibers have an important position and special usefulness in the materials field. In this paper, the train of thought for designing intelligent fibers was reviewed, including bionics, molecular design and complex technology; the preparing technology of intelligent fibers was described, including the direct spinning of intelligent polymer-forming fiber, graft copolymerization, crosslinking, blending and addition, composite spinning and hybridization, chemical reaction of polymer as well as post-treatment and so on; it was suggested that the research and development of intelligent fiber should be paid more attention in China.

Key words: Intelligent; Fiber; Design; Preparing technology