

# 智能纺织品设计与应用

顾振亚 陈莉 等编著



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

智能纺织品设计与应用/顾振亚, 陈莉等编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 11  
ISBN 7-5025-7846-3

I. 智… II. ①顾…②陈… III. 纺织品-设计 IV. TS106

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 129592 号

---

智能纺织品设计与应用

顾振亚 陈莉 等编著

责任编辑: 朱彤

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 宋玮

封面设计: 潘虹

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 284 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7846-3

定 价: 35.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

21 世纪纺织科技的最新发展，使得人们能够将织物作为一种“平台”在上面加入各种各样的新成分，并使织物变得“聪明”和“智能”而成为各类智能纺织品。智能纺织品的发展使人们看到了纺织工业的希望，智能织物将成为世界纺织品市场上的主流。

抱着对纺织工业未来的美好憧憬，我们组织国内在纺织品开发与研究方面有丰富经验的有关专家、学者编写了《智能纺织品设计与应用》一书。该书在总结大量国内外研究成果的基础上，详尽介绍了国内外智能纺织品的发展现状和最新研究动态。我们希望通过本书使广大科技工作者，尤其是纺织科技工作者能够掌握和了解智能纺织品并得到有益的启示，从而为研究和开发出拥有自主知识产权的智能纺织品，为我国纺织工业的发展做出贡献。

本书共分 9 章，包括智能纺织品的主要方面，即每一类智能纺织品以一种新材料或新技术为基础并对其内容进行相应介绍，以利于读者深入研究。其中，第 1 章由顾振亚编写；第 2 章由周秀会编写；第 3 章由霍瑞亭编写；第 4 章由杨文芳编写；第 5 章由陈莉、牛家嵘编写；第 6 章由顾振亚、刘夺奎编写；第 7 章由马晓光编写；第 8 章由张健飞编写；第 9 章由顾振亚编写。

智能纺织品的开发与应用是一个全新领域，也是各项高新技术在纺织品应用的集中体现，同时涉及化学化工、材料、生物、电子、信息等多种学科。由于作者水平有限，书中难免会存在不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2005 年 6 月

# 目 录

第 1 章 智能纺织品概述 .....	1
1.1 前言 .....	1
1.2 智能纺织品的特点与分类 .....	1
1.3 智能纺织品的应用 .....	2
1.4 智能纺织品的开发途径 .....	4
参考文献.....	5
第 2 章 形状记忆高聚物 and 智能型防水透湿织物 .....	7
2.1 防水透湿织物概述 .....	7
2.1.1 防水透湿织物简介 .....	7
2.1.2 防水透湿织物的分类和生产技术 .....	8
2.1.3 防水透湿织物的防水透湿原理.....	11
2.1.4 防水透湿织物的性能测试.....	12
2.1.5 防水透湿织物的应用.....	13
2.2 形状记忆高聚物的种类与特性.....	14
2.2.1 形状记忆高聚物简介.....	14
2.2.2 高聚物的形状记忆特性及其基本原理.....	15
2.2.3 形状记忆高聚物的种类.....	17
2.3 形状记忆聚氨酯与智能防水透湿织物.....	20
2.3.1 智能防水透湿织物的防水透湿原理.....	20
2.3.2 形状记忆聚氨酯的结构与性能.....	21
2.3.3 形状记忆聚氨酯与智能防水透湿织物的开发现状.....	24
2.4 展望.....	25
参考文献 .....	26
第 3 章 相变材料和智能调温纺织品 .....	29
3.1 智能调温纺织品概述.....	29
3.2 相变材料和相变调温机理.....	31
3.2.1 相变材料.....	31
3.2.2 相变材料微胶囊的制备.....	39
3.2.3 相变调温机理.....	42
3.3 智能调温纺织品.....	44

3.3.1 智能调温纺织品的生产方法.....	45
3.3.2 智能调温纺织品的应用.....	54
3.4 展望.....	56
参考文献 .....	57
<b>第4章 光(热)致变色材料和变色纺织品 .....</b>	<b>59</b>
4.1 变色材料概述 .....	59
4.2 光(热)致变色材料.....	60
4.2.1 变色材料的分类.....	60
4.2.2 电致、湿敏变色材料简介.....	61
4.2.3 热致变色材料.....	61
4.2.4 光致变色材料.....	67
4.2.5 光(热)致变色材料在纺织上的应用.....	72
4.3 变色纺织品和伪装纺织品.....	74
4.3.1 变色纺织品.....	74
4.3.2 伪装纺织品.....	79
4.4 展望.....	88
参考文献 .....	89
<b>第5章 水凝胶高聚物和阻水(隔热)织物 .....</b>	<b>91</b>
5.1 引言.....	91
5.2 水凝胶高聚物的结构与特性.....	92
5.2.1 pH 响应型水凝胶 .....	92
5.2.2 温度响应型水凝胶.....	93
5.2.3 电场响应型水凝胶.....	95
5.2.4 光响应型水凝胶.....	98
5.2.5 磁场响应型水凝胶.....	98
5.2.6 化学物质响应型水凝胶.....	99
5.3 水凝胶在纺织品智能化方面的应用.....	99
5.3.1 智能化纤维 .....	100
5.3.2 智能调温潜水服 .....	100
5.3.3 智能调温运动纺织品 .....	101
5.4 抗浸(隔热)织物 .....	102
5.5 展望 .....	108
参考文献.....	109
<b>第6章 纳米技术与自洁纺织品 .....</b>	<b>111</b>
6.1 纳米技术概述 .....	111

6.2	超拒水防污自洁纺织品——荷叶效应的应用	112
6.2.1	荷叶效应	112
6.2.2	荷叶效应的表面化学基本原理	113
6.2.3	荷叶效应的技术应用——超拒水、防污自洁纺织品的开发	116
6.2.4	荷叶效应技术应用前景	119
6.3	消臭(吸臭)纺织品——环糊精的应用	120
6.3.1	概述	120
6.3.2	环糊精消臭机理	123
6.3.3	环糊精消臭处理技术	125
6.3.4	应用开发前景	130
6.4	其他自洁纺织品	132
6.4.1	Nano-Care 防缩防皱拒水拒油整理	132
6.4.2	利用纳米 $\text{TiO}_2$ 的光催化作用开发自洁纺织品	133
6.5	小结	134
	参考文献	134

## 第7章 电子信息智能纺织品 137

7.1	前言	137
7.2	微电子元件与纺织品结合方式	138
7.2.1	数字化纤维编织法	138
7.2.2	纺织材料复合法	139
7.2.3	纺织柔性电子点阵面料	140
7.2.4	ElekTex 面料	141
7.2.5	纳米电子纺织面料	143
7.3	电子信息智能纺织品的结构设计与加工	144
7.4	电子信息智能纺织品的应用	145
7.4.1	计算机服装	145
7.4.2	柔性显示器	146
7.4.3	无线遥感与通讯	148
7.4.4	休闲娱乐	149
7.4.5	医疗保健	150
7.4.6	电子智能标签	152
7.4.7	产业领域	152
7.4.8	军用领域	153
7.5	需要解决的问题	154
	参考文献	156

## 第8章 生物技术在纺织品上的应用 157

8.1 酶的基础知识 .....	157
8.1.1 酶的定义 .....	157
8.1.2 酶的催化特性 .....	158
8.1.3 酶的分类和命名 .....	159
8.1.4 酶的催化作用机理 .....	160
8.1.5 酶活力的定义与表示方法 .....	163
8.1.6 影响酶促反应的因素 .....	163
8.1.7 酶的改性和固定 .....	165
8.1.8 酶的基本生产方法 .....	166
8.2 纺织用酶制剂的性能 .....	166
8.2.1 纺织用酶催化反应的特点 .....	166
8.2.2 纺织用固态、液态酶制剂的性能 .....	167
8.2.3 纺织用酶制剂的种类 .....	167
8.3 淀粉酶及其在纺织工业中的应用 .....	168
8.3.1 淀粉酶的种类 .....	168
8.3.2 淀粉酶退浆处理的主要方法 .....	169
8.4 纤维素酶及其在纺织生产中的应用 .....	170
8.4.1 纤维素酶的组成和作用机理 .....	171
8.4.2 影响纤维素酶催化效率的因素 .....	172
8.4.3 纤维素酶处理对纤维素织物性能的影响 .....	173
8.5 蛋白酶及其在纺织生产中的应用 .....	174
8.5.1 蛋白酶的类别和羊毛的性质 .....	174
8.5.2 蛋白酶对羊毛的减量机理 .....	175
8.5.3 蛋白酶处理对羊毛织物性能的影响 .....	176
8.5.4 蛋白酶用于生丝脱胶与丝织物的水洗整理 .....	177
8.6 其他酶及其在纺织生产中的应用 .....	178
8.6.1 果胶酶及其在纺织生产中的应用 .....	178
8.6.2 过氧化氢酶及氧漂生物净化工艺 .....	180
8.6.3 漆酶及其在纺织中的应用 .....	181
8.6.4 脂肪酶及其在纺织中的应用 .....	182
8.6.5 葡萄糖氧化酶及其纺织应用前景 .....	183
8.6.6 半纤维素酶与木质素酶 .....	184
8.7 高性能纺织品开发举例 .....	185
8.7.1 返旧(石磨)织物 .....	185
8.7.2 抛光(光洁)织物 .....	186
8.7.3 机可洗(防毡缩)羊毛织物 .....	187
8.7.4 Lyocell(仿桃皮绒、光洁)织物 .....	188
8.8 新型纺织应用酶制剂的研究与展望 .....	188

参考文献.....	189
<b>第9章 智能纺织品展望</b> .....	<b>191</b>
9.1 智能纺织品开发现状 .....	191
9.2 智能纺织品的设计思路 .....	193
9.2.1 智能纺织品的仿生设计 .....	193
9.2.2 高科技的融合 .....	195
9.2.3 纺织品应用于其他领域 .....	196
9.3 智能纺织品发展趋势 .....	196
参考文献.....	197

# 第 1 章 智能纺织品概述

## 1.1 前言

近 20 年来，纺织品的应用在全球范围内发生引人注目的变化，在一些西方国家，传统的纺织和服装工业几乎消失，而智能纺织品却在这些国家迅速发展，日益为人们所关注和重视。智能纺织品源于智能材料。1989 年日本高木俊益教授根据将信息科学融于材料构型和功能的设想首次提出了智能材料（intelligent material）的概念。随后，美国又称其为灵巧材料或机敏材料（smart material）。

我们都知道，生命体不仅具有思维活动和思维能力，还具有对外界刺激响应的能力，被称为“智能”，是生命体特有的属性。比如：含羞草的叶子因被触动而闭合；单细胞的变形虫遇不同物体而伸出或缩回假足；高等动物因体内外各种变化而发生肌肉运动或腺体分泌等。智能材料就是指模仿生命系统，同时具有感知和驱动双重功能的材料，即不仅能够感知外界环境或内部状态所发生的变化，而且能够通过材料自身的或外界的某种反馈机制，实时地将材料的一种或多种性质改变，做出所期望的某种响应的材料。感知、反馈、响应是其三大要素。智能材料是集材料、物理、化学、微电子等多种学科为一体的交叉学科。

智能材料的发展为智能纺织品的开发奠定了基础，促进了智能纺织品的发展。通过将智能材料应用于纺织品或使纺织品智能化，赋予纺织品以智能，为传统纺织向现代纺织发展开创了新的途径。如美国 Auburn 大学和北卡罗莱纳州大学研究的一种具有刺激响应性的高分子凝胶，将其应用于纺织品，不仅能增加纺织品的结构强度，还能提高纺织品的环境适应性和敏感性。智能纺织品已成为智能材料的重要分支，是纺织工业的未来。

## 1.2 智能纺织品的特点与分类

智能纺织品是指对环境条件或环境因素的刺激有感知并能做出响应，同时保留纺织材料、纺织品风格和技术性能的纺织品，之所以被称为“智能”，是因为它具有“思考”甚至有恢复原始状态的记忆功能，如在热、光、电、湿、机械和化学物质等因素刺激下，它们能通过颜色、振动、电性能、能量储藏等变化，对外界刺激做出响应。

众所周知，传统纺织品主要用以遮体，保护人体免受尘土、阳光、风雨以及日常生活中其他污染的危害。随着社会的进步和生活水平的提高，人们更要求纺织品有一些特殊功能，如在恶劣气候条件下，能防雨雪、透湿、防风、保暖，以使穿着者保持舒

适感；在工作环境中，能阻燃、隔热、防静电、防化学与生物试剂、防辐射等；也可用作工具，进行通信、检测和记录信息等，如能赋予纺织品上述多种功能，则被认为是智能型纺织品。与传统纺织品相比，智能型纺织品具有多功能的特征。一般由传感器、执行器和控制器三部分组成。其命名通常与其功能紧密联系，属于功能纺织品的范畴。智能纺织品的设计与开发往往以功能性和安全性为主要目的。它的开发已不仅仅局限于纺纱、织造等某一过程，而应强调从纺织材料和纺织品设计、纺织加工，直到后整理，甚至服装设计的系统工程，需全方位地考虑。

1979年出现的形状记忆丝被认为是第一种智能纺织品。但Vigo等人则追溯至1929年，认为由Marsh等人研究的具有干、湿抗皱性能的纤维素织物为最早的智能纺织品。

根据智能纺织品感知和响应的状态不同，可分为被动智能型、主动智能型和非常智能型三类。

(1) 被动智能型纺织品 (passive smart textiles) 此类智能纺织品对外界条件和刺激仅能感知，如光导纤维能感知外界刺激并有传感作用，可用做测量应变、温度、位移、压力、电流、磁场等的传感器，但其功能的提供是被动的。比如，一件隔热的外套无论外界温度的高低只能保持隔热至某一温度；防火服不论其周围是否存在火焰，其防火性保持不变，即无自动调节作用。

(2) 主动智能型纺织品 (active smart textiles) 主动智能型纺织品不仅能感知外界环境的刺激，还能有所响应，既有传感器的作用，又有执行器的作用，可与特定的环境相协调，如形状记忆、防水透湿、变色、蓄热调温等纺织品，用此类纺织品做成的衣服具有造型记忆、防水排汗、光(热)改变颜色、调节温度等功能。

(3) 非常智能型纺织品 (very smart textiles) 非常智能型纺织品又称适应型智能纺织品，是最高水平的智能纺织品。它们除对外界环境刺激能感知和响应外，还能自动调节以适应外界环境的条件和刺激。科学技术的进步，纺织与其他科学如材料科学及机械、传感、通信、人工智能、生物等的先进技术相结合，使非常智能型纺织品的开发成为可能。比如用此类纺织品制成的智能保健衫可随时监测人体的心率、血糖、血压、体温等生理指标并传送给医生，医生可随时对穿着者锻炼的强度、持久性等提出建议，一旦发生意外，可及时就医；又如变色T恤衫，能通过变色或释放香味来调节穿着者的情绪等。

### 1.3 智能纺织品的应用

智能纺织品应用领域十分广阔，尤其在军事领域应用潜力更大。过去的50年中，军事研究发展迅速，士兵的个体防护装备得到长足的发展。如今士兵的防护装备是有史以来最好的。但随着科学技术的进步，现代化战争迅速向数字化战场发展，只靠当前的防护装备是远远不够的。在数字化战场上，过重和庞大的装备包括电子设备、防弹服等显然不适宜了。此外，现代战争发生于大城市或城市的周边地带，这就需要限制非战斗性的严重伤亡，避免间接损失，要求进一步提高战士的能力。战士需使用能发现偏僻处或远处敌人的武器，能提供战场信息的装备，并能控制各种机器人、无人驾驶飞行器和

传感器等，以便随时确定本人、战友和敌人的位置，通过互发信息做出决策。战士的着装要轻而不臃肿，具有防弹、防化学和生物试剂、防辐射、防严寒和酷热、防火等防护功能，还要求能监测战士的生理状况及受伤情况，及时传送至附近的医疗部门。近年来，德国军队对智能纺织品提出了明确的要求，他们认为，战士必须适应当地的气候变化去完成一系列任务，面对各种任务，军服的设计是非常重要的。理想的装备必须轻，能具有防弹、防化学和生物武器，在气温低时能保暖，气温高时能制冷等各种功能，即战士的装备必须能驾驭每件事和任何事。美国 Natic 的士兵系统中心从事的“未来士兵”研究项目中，科学家们研究了各种能输送动力和信息的纺织品。例如，战士将戴上“智能”手套的手指插入水中，即可知道此水能否安全饮用；战士可利用植入键盘的织物制成的衣袖或口袋与他人通信。如果电子元件和光导技术能成功地并入纺织品，那么战地的通信将明显改进。他们还研究了能伪装战士和环境的作战服，同时将可穿戴的电子网络并入服装以发送和接收信息。例如，将对 pH 敏感传感器缝入织物，当监测到生物、化学的毒性物质或毒气时，传感器会发出警报并告知士兵，以增加士兵的存活率。由此可见，在军用纺织品中引入尽可能多的功能或智能是军事的迫切需要，这也成为智能纺织品近年来迅速发展的重要原因。

受美国军方的委托，美国北卡罗莱纳州大学和 Akron 大学等单位开始了一项五年计划，为 21 世纪士兵研究、开发一种完全不同于传统纺织品的智能纺织品。他们采用嵌入光导纤维等传感器的方法，制得通过颜色变化、发出声音或警报信号等感知热、有害环境和受监视等的织物，将该织物制成臂章或带子佩用。据报道，美军已将植有化学检测传感器的织物装备步兵。当有毒物质存在时，织物就像石蕊试纸一样改变颜色；另外一种被称为变色龙的织物是将液体染料和固体颜料混合物填充于中空纤维制成的织物。随着环境颜色的变化，织物颜色也随之变化，如雪地中呈白色，沙漠中呈黄褐色。

除军事领域外，在其他民用领域智能纺织品也有巨大的应用前景。正在开发的智能纺织品已涉及结构材料、土工纺织材料及工程纺织品，用以制作防护服、运动服、休闲服等。也可应用于生物医学领域，如消防、执法、急救人员等经常会遇到爆炸、生化、核辐射及火焰等危害的人员；到达事故现场后，他们急需了解事故的性质、发生的位置及严重程度，确定受害者或恐怖分子所在地并设立隔离带。因此，为此类人员配备防护服及防护装置，以增强他们的安全性是十分必要的。若在织物中嵌入一个简单的检测/分析装置，穿上该织物制成的防护服，通过检测装置颜色的变化就可确定空气中是否存在化学或生物等有毒物质，以便采取有效的防范措施。为了进一步增强宇航员的活动能力和执行任务的能力，美国国家宇航局（NASA）计划用 15~25 年的时间研制一种质量轻、不臃肿的智能型宇航服，他们将生物传感器拼入服装内，以监视宇航员的生理指标，随时了解宇航员的生理状态，而且该服装具有自修复性（self-repairing）。在保健、教育方面，英国 Brunel 大学设计了一种植入传感器的织物，将其制成婴儿睡衣，可监视婴儿的呼吸状态，一旦发生呼吸停顿等情况，即可向父母所在的卧室发出警报。他们还将织物与儿童发声系统相结合，研究一种称为使用者友好织物（user-friendly fabric），用以促进学习困难儿童的学习。随着电子信息技术的发展，科研人员还尝试把电话、电脑等电子设备植入纺织品，制成可穿戴的电子纺织品（E-textiles），用于休闲、

娱乐、医疗保健等领域。1996年由美国海军资助的，佐治亚纺织与纤维工程学院研究成的智能T恤衫被认为是保健监测领域的飞跃。该T恤衫将光导纤维和导电纤维拼入衣服中，人们穿着后，其心率、呼吸、体温、血压等生理指标均能被监测到。遇到心脏病发作或其他危急情况时，能及时发出警报，甚至可将信息传送到医疗部门，以便得到及时的救护，降低突发性死亡率。他们还计划在服装衣领处安装一个全球定位系统接收器，当儿童或老年痴呆病人在不慎走失后能及时地被找到。美国Traxtar公司近年来推出一种运动智能鞋，在鞋舌处装有传感器和微处理机，可随时测量跳高、跳远或跑步的成绩并将信息传至教练处，接受教练的指导，确保运动员的有效训练。该鞋还可用以鼓励儿童进行体育训练，使他们变得更活跃。在汽车工业中，人们正在研究汽车的“智能”气囊，该气囊在机械力的作用下，能通过膨胀/收缩对其受到的振动或冲击做出响应。

总之，智能纺织品并不单纯用于服装领域，它还将在其他领域如生物医学、技术工程等领域发挥重要的作用。智能纺织品不仅可使人们的日常生活更多样化，同时还可提供必要的防护。

## 1.4 智能纺织品的开发途径

过去的50年里，服装的选择发生了巨大变化。人们通过引入新材料，采用新的生产方法和新的组合，使各种服装比以往更舒适、耐久和功能性。不久的将来，植有小到原子尺寸的微型计算机的织物、能自行除尘的织物、可根据每个人的体型自行裁剪的服装以及对环境刺激有响应的多功能军服、运动服、休闲服等将成为现实。因此，智能纺织品近年来日渐为人们所关注，被认为是纺织工业的未来。当然，也存在技术困难，包括成本、耐久性及生产率等。随着先进科技的引入，如纳米技术、生物技术以及先进的纺织技术等，这些困难一定会被克服。智能纺织品的发展充分证明，纺织工业无论在服装行业，还是技术纺织品领域，都存在无限的机遇与潜力。生物技术、信息科学及材料科学的发展，将对纺织工业发生重要的影响。专家预言，在未来的几年内，我们的日常生活将被由纺织品及服装构成的智能装置所控制。

从目前世界上已有和正在开发的智能纺织品的品种来看，纺织品的智能化一般是通过以下途径来实现的。

(1) 智能材料的开发是智能纺织品开发的基础。利用高分子化学和物理原理，合成能对环境刺激进行响应的智能高聚物，或对原有的高聚物或天然高分子进行改性，使其具有智能化特征。例如通过对“变色脂”表皮颜色变化机理的研究，已研制出一种变色蛋白质纤维，用以制成织物，就可做成对某些特定刺激（如光、热等）进行响应的变色服装。

(2) 对普通纺织品进行智能加工整理，赋予其智能特性。如利用功能整理剂整理织物，使织物具有新的功能与智能。

(3) 将普通纤维与特种纤维，如光导纤维，交织或将特种纤维编入织物中，赋予织物智能特性。

(4) 将织物与智能型膜材等材料复合，制得智能型复合织物。

(5) 在织物设计中, 根据特定的应用场合, 通过织物组织结构设计使织物对特定的环境刺激具有响应特征。

(6) 将织物或服装与其他外加元件, 如电子元件、高技术传感器、检测器、报警器等相结合, 从而制得智能型纺织品或智能服装。

智能纺织品是继功能纺织品之后出现的又一种类型的高科技纺织品。它的开发不论采用何种途径, 不同学科的合作是十分必要的, 不仅需要纺织工业内部纤维、纺织、染整和服装设计、制造部门间的合作, 更需要多学科如生物、电子、材料、化工等学科的相互渗透、交叉和融合。智能纺织品近年来发展很快, 它在增加服装功能性和舒适性、提高人们生活质量、改善劳动条件、满足某些特种行业和特种场合的需要等方面, 正在发挥越来越重要的作用。随着人们生活水平的提高, 相信智能纺织品的发展会更快, 必将对人类日常生活产生越来越显著的影响。

## 参 考 文 献

- 1 师昌绪主编. 材料大词典. 北京: 化学工业出版社, 1994. 1161
- 2 Ruppel J. High Performance Textiles or Smart Textiles? There's money in know-how. International Text. Bull, 2001 (3): 6~24
- 3 Hongu T, Philips G O. New Fibers, New York; Eills Horwood, 1990
- 4 Vigo T. Textile Processing and Properties, Preparation, Dyeing, Finishing and Performance,. Amsterdam, Elsevier, 1997
- 5 Zhang X X, Tao X M. Smart Textiles (I) Passive Smart. Textile Asia, 2001, 6: 45~48
- 6 Knowledge for Business Intelligent Textiles Make Clothing and People Smarter TNO Magazine Dec. 2003
- 7 顾振亚. 高性能防护织物发展动向. 中国劳动防护用纺织品, 2000 (1): 26~29
- 8 <http://www.ittd.ac.in/cgi-bin/nph-p/http/10.116.2.57/textile/intelligent-textile.htm>
- 9 贺昌城, 顾振亚. 智能型纺织品. 针织工业, 1999, 4: 48~52
- 10 郭晴. 现代生物技术: 军事技术革命的生力军. 世界军事, 1998 (4): 49~51

# 第 2 章 形状记忆高聚物 and 智能型防水透湿织物

## 2.1 防水透湿织物概述

### 2.1.1 防水透湿织物简介

多年来，织物、服装的防水和透湿一直是一种矛盾，如聚氯乙烯、聚氯丁橡胶和各种橡胶涂层的织物制作的服装有良好的防水性，可以在恶劣天气穿着，但不透气，穿着时发闷，人体产生的汗液无法排除到服装外面，在服装内表面积聚冷凝，使人感觉不舒适且有湿冷感。在日常生理活动中，人体是通过部分不觉察的蒸发来使体温下降和平衡的。如果人体所产生的水蒸气不能及时排除到服装外，服装内微气候环境的相对湿度提高到足以产生明显蒸发并提高隔热空气层的热导率，那么穿着这种服装就会感觉发闷、不舒适。同时，水的热导率是干燥纤维的 10 倍，是空气的 25 倍。当织物中的水蒸气含量增大时，织物的保温性能显著下降，此时穿着这种服装就会有湿冷感。针对这种情况，纺织业多年一直进行不断研究，希望获得既能防水又能透气、透湿、防风的高科技产品。

防水透湿织物 (waterproof moisture permeable fabrics)，也叫防水透气织物，又称“可呼吸织物” (breathable fabrics)，是集防水、透湿、防风和保暖性能于一体的功能织物，是近年来陆续开发的高附加值产品之一。所谓防水透湿，就是要求织物在一定的水压下不被水（主要是雨水）润湿或渗透，但人体散发的汗液蒸气却能通过织物扩散或传导到外界，不在体表和织物之间积聚冷凝，主观感觉不到发闷的现象。防水透湿织物既可以防止外界的水分进入织物内部，又可以使织物内部的水分排到织物外面，因此有很好的保暖性，从而实现织物防水功能和热、湿舒适性的统一。用防水透湿织物制作的服装穿着舒适，无湿冷感，可用做登山服、滑雪服、运动服、救生服、产业用布等。

防水透湿织物的发展从 20 世纪 40 年代初开始。最初实现具有防水透湿功能的织物叫 Ventile (文泰尔)，是 20 世纪 40 年代初由英国 Shirley (锡莱) 研究所设计的。它的出现标志着防水透湿织物正式走向市场。Ventile 是一种低特数低捻度纯棉纱高密织物，经特殊织机编织而成。在干燥的 Ventile 织物中，经纬纱之间的微孔比较大，能提供高度透湿的结构。织物受湿后棉纤维截面积膨胀，使织物中纤维间的孔隙缩小，以致需要极高的压力才能使水渗透，同时结合以特殊的拒水整理，从而具有防水性。Ventile 是 高密型防水透湿织物的代表产品。高密织物就其防水透湿功能方面，无法达到很高的防水性，因为防水性的提高会以损失透湿性为代价。但因其有着良好的手感和透湿性，因此在市场上仍然有着广泛的应用。

1969 年，美国人 R. W. Gore 开发了多微孔的 PTFE (聚四氟乙烯) 薄膜，从此开

始了防水透湿织物的新时代。用这种膜开发的层压防水透湿织物在 1971 年问世，1976 年以商品名 Gore-Tex 推向市场。Gore-Tex 膜是通过把烧结挤出的 PTFE 棒加热到稍低于 327℃，再以较高的速率进行二维拉伸而制得的。通过电镜观察可以发现，Gore-Tex 膜有很多结节，结节之间由原纤连接，结构较规整。结节形成了很多微小的孔隙，孔隙率可达 96%（一般在 25%~96% 之间），因此透湿性很好。Gore-Tex 膜的微孔一般为 0.02~15 $\mu\text{m}$ ，具有优良的防水能力。Gore-Tex 织物结构如同“三明治”，分三层，外层一般为尼龙织物，内层为针织品，中间为不连续粘接的 Gore-Tex 膜。Gore 公司根据市场反映，针对使用时间增长则织物透湿效果变差以及面料渗水的现象，1979 年与日本润工社合作，推出其改进的第二代 PTFE 薄膜层压织物。从此，层压织物成为防水透湿织物中的主力军。荷兰、日本、英国等国家的有关企业也分别开发出多微孔或无孔聚氨酯薄膜层压织物，如英国 Porvair 公司的 Porelle 膜层压织物，Akzo Nobel 公司的 Sympatex 层压织物等。

从 20 世纪 80 年代中期开始，防水透湿织物的生产技术进入了全面发展阶段，涂层、层压、高密织物等各种加工方法已经逐步形成，目前正处于技术完善与产品迅速发展阶段。不同加工方法生产的防水透湿织物，由于结构特征、防水透湿机理及材料上的差异，存在各自的优势及缺陷。层压织物与高密织物、涂层织物相比，具有明显的技术优势，充分表现出差别化和功能化的时代特征，是目前防水透湿织物的主要发展方向。

防水透湿织物虽然开发的时间短，但其一出现便成为各国纺织品产品开发的主要项目。随之而来人们对织物的功能要求越来越高，同时因为人类生存环境的不断变化，使得这一类织物具有更大的开发潜力。

## 2.1.2 防水透湿织物的分类和生产技术

根据织物的加工方法不同，防水透湿织物可以分成以下三种：高密织物、涂层织物和层压织物。防水透湿织物发展过程的主线是涂层和层压织物，辅线是高密织物的发展。涂层织物和层压织物由于其可以达到很高的防水透湿性，又可按需要提供不同档次（如高防水、低透湿型，低防水、高透湿型等），不同要求（如保温、迷彩、阻燃等）的产品而占据市场的主导地位。高密织物虽无法达到很高的防水性，但其具有良好的透湿性，手感较涂层和层压织物优越，在市场上仍占有一席之地。

### 2.1.2.1 高密织物

织物中，纤维本身具有一定的吸湿效果，经纬纱线交织时产生的缝隙孔洞能使人体在活动时所产生的汗气扩散出体外，不会产生闷热不舒服的感觉。但是，普通织物的孔隙不能阻止水分子的渗透，无法达到防水的功能。高密织物是利用改变织物结构而达到防水透湿的目的。最早研制出的防水透湿织物是一种称为 Ventile 的相当紧密的全棉牛津布，此织物在干态时透湿性较好，在湿态时，由于棉纤维产生膨胀，纱线之间的孔隙由 10 $\mu\text{m}$  减少到 3 $\mu\text{m}$ ，在短时间内可以防止水的渗透，但手感变得僵硬，不利于穿着。超细纤维发展后，使得具有防水透湿功能的高密织物得到了长足发展，现在的高密型防水透湿织物多是超细聚酯或尼龙纤维织物，纤维之间、纱线之间紧密排列，这种织物密度是普通织物的 20 倍，不经拒水整理也可耐 9.8~14.7kPa 的水压，通过拒水整理后，

可达到更高要求。

随着超细纤维的迅速发展，各种用超细纤维制作的超高密度物大量涌现，以高密度物为主生产防水透湿织物的设计思想由于超细纤维的不断发展一直应用至今。高密度物轻薄耐用，透湿性、悬垂性好，手感柔软能防风。根据实现织物高密度化的手段，高密度物又可分为高密织造织物和高密整理织物。

(1) 高密织造织物 高密织造织物是用特殊的织机，采用织物高密度结构设计的方式生产的高密度防水透湿织物。织造时必须使纱线中的孔隙和经纬纱交织造成的孔隙达到相当小的程度 ( $2\sim 20\mu\text{m}$ )。为了实现这种设计思想，一般采用  $0.30\sim 0.78\text{dtex}$  单纤维的超细原料结合高密度设计获得，超细原料和高密度的配合可使丝线中的孔隙达到防水透湿的要求，同时高密度织造使经纬纱线相互紧密重叠，消除了经纬纱交织导致的过大孔隙。防水透湿织物的组织需进行特殊的设计，并用特殊的织机进行织造，因为该类织物经纬纱均要求没有捻度，经纬密度高且基本接近，用常规织机进行织造是相当困难的。高密防水透湿织物多用超细聚酯或尼龙纤维为原料织成。其代表产品为日本帝人公司以超细涤纶为原料开发的微隙织物 *micro-porous fabric*。此织物为平纹组织，采用  $150\text{dtex}$  的超细旦纤维时，织物密度将达  $600\text{根}/10\text{cm}$ ，而在同等纤度与组织下，普通服用织物经密通常为  $310\sim 400\text{根}/10\text{cm}$ 。*micro-porous fabric* 经 5 次洗涤后，在 24h 内仍能耐受  $9.8\text{kPa}$  的水压而不渗漏，透湿量可达  $10000\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ 。经 20 次洗涤后，该织物的性能仍能保持 90% 以上。

(2) 高密整理织物 高密整理织物是通过后整理使原料热收缩而达到织物高密度化。和高密织造织物一样，高密整理织物最终也要使纱线中的孔隙和经纬线交织导致的组织孔隙足够小，这种后整理的收缩力是相当大的，用超细纤维一般不能达到要求。因而，高密整理织物的原料一般是皮芯结构，芯线为较粗的高收缩纤维。皮线为超细原料，经热收缩整理后，芯线的热收缩使织物的经纬密度达到设计高密度织物的要求，而均匀包覆在芯线外面的皮层纤维由于热收缩相对较小，因而卷曲蓬松在织物表面，从而使织物手感柔软。蓬松的超细纤维不仅使织物经纬丝间的交织孔隙减小到足够的程度，而且使织物形成了多层结构，织物沾水性能降低，从而具有一定的防水性能。

日本钟纺公司用分离型纤维 ( $1\text{dtex}$ ) 制成织物后再经高收缩，于 1981 年首创超高密度物，其密度为普通织物的 20 倍，耐水压可达  $6\text{kPa}$ 。帝人公司开发的 *Sorela* 织物是用涤纶皮芯异收缩原料制作的防水透湿织物。该织物经热收缩后整理后，皮线超细旦纤维处于织物表面，使其具有轻刷绒棉织物的质地，织物耐水压大于  $4.9\text{kPa}/24\text{h}$ ，与服用面料的性能更加接近。*Sorela* 织物主要用于体育运动和滑雪服装面料。日本尤尼契卡的 *Naiva* 织物是以可乐丽公司生产的乙烯与乙醇共聚长丝为芯线、锦纶为皮线的防水透湿织物。如今 *Naiva* 织物已为欧美的登山户外运动运动员所接受。

高密度物作为防水透湿织物，工艺简单，主要是纱线和丝纤度的变化，制成的衣物悬垂性好，透湿性好；但由于织物的密度大，织物的撕裂性能差，生产成本低；与层压和涂层织物相比，其耐水压太低，是此类织物的主要缺点，大大限制了它的应用范围。

#### 2.1.2.2 涂层织物

涂层整理即在织物表面涂上一层能形成薄膜的高分子化合物。高分子化合物一般不

进入织物组织内部，在表面形成连续的薄膜，使织物具有特定的功能。涂层不仅能改善织物的外观和风格，还能根据所采用的高分子化合物的性能不同，使织物的功能不同、用途不同。例如，使织物具有防水、耐水压、透气透湿、阻燃防污、遮光反射及抗静电、防紫外线等功能，使织物多功能化及提高其附加值。

防水透湿的涂层整理主要采用直接涂层法、相分离法、泡沫法和相转换法等，在织物表面形成一层连续的薄膜，封闭纱线之间的孔隙或使其减小到一定的程度，从而具有防水性。透湿性的获得，一种方法是使涂层的连续薄膜变成不连续的、含有无数微孔的网状结构薄膜，如相分离法、泡沫法和相转换法。这些微孔的直径大小应在  $2\sim 20\mu\text{m}$  之间，即允许水蒸气分子通过，而不能透过水分子。或者采用的涂层高分子含有足够量的高亲水基团，作为水蒸气移动的阶梯。水蒸气通过吸附、扩散、解吸等物理作用透过薄膜，使织物具有透湿性。

防水透湿织物采用的涂层剂主要有氯丁橡胶、聚氯乙烯、聚丙烯酸酯、聚氨酯、有机硅橡胶、聚四氟乙烯、聚偏氟乙烯等。国外有关产品已有几十个品牌，如日本东丽公司生产的 PU 湿法涂层织物 Entrant；Pfersee/Ciba Geigy 公司采用泡沫涂层生产的 DC-RYLAN 系列产品；美国 Burlington 公司的 PU 涂层织物 Ultrex；比利时 UCB 公司的产品 Ucecoat 2000 和 Ucecoat NPU；英国 Baxenden 化学作用的 Witcoflex Staycool、X-liner 等；德国 Bayer 公司生产的亲水 PU 涂层织物 Witcoflex/staycool 等。

在 20 世纪 90 年代中期又出现了一种新的涂层工艺——放电涂层，利用物理和化学手段，借助等离子镀膜技术，在织物表面进行改性，使其具有憎水、防水能力。

涂层方法生产防水透湿织物，一般加工简单，其特点是透湿小、耐水压不大。由于原料、工艺及这种方法本身的局限，一直不能解决透湿、透气和耐水压、耐水洗之间的矛盾。另外，一般都要使用二甲基甲酰胺（DMF）、甲苯、甲乙酮等有机溶剂。这些溶剂大多有毒性，对操作者有一定的危害，还污染环境。

### 2.1.2.3 层压织物

防水透湿层压织物是将有防水透湿功能的薄膜采用特殊的胶黏剂，层压或黏结到各类织物上，从而使织物获得防水透湿的效果。防水透湿层压织物以多微孔聚四氟乙烯薄膜（简称 PTFE 膜）、聚酯薄膜（简称 PET 膜）和聚氨酯薄膜（简称 PU 膜）与织物复合（或黏合）为主流；也有用微孔聚乙烯和/或乙烯醋酸乙烯共聚膜与无纺布复合的产品，后者主要供医药用。

采用的高聚物薄膜主要有两类：亲水型和微孔型。亲水薄膜的主要产品有日本东纺织造公司的 Bion 薄膜，荷兰 Akzo Nobel 公司的 Sympatex 薄膜；微孔型薄膜有美国 W. L. Gore 公司开发的 Gore-Tex 薄膜，日本日东电气公司的 Microtex 薄膜，英国 Porvair 公司开发的 Porelle 膜，美国 Donaldson 公司和日本小松精练株式会社共同开发的 Telratex 以及 Leetex 和 Dennis 等。

在这三类防水透湿织物中，层压织物无毒气和毒物排放，成功地解决了耐水压与透湿量之间的矛盾，将优良的防水透湿性和防风保暖性集于一体，具有明显的技术优势。防水透湿层压织物不仅性能突出，而且在工艺技术上也具有选材范围广、设计灵活、污染少等优点，因而是今后防水透湿织物的一个主要方向。