

纺织产品开发丛书

# 仿真与仿生 纺织品

— 顾振亚 田俊莹 牛家嵘 等 编著 —

FANGZHENYUFANGSHENG  
FANGZHIPIN

NEW-STYLE  
TEXTILE



中国纺织出版社

# 仿真与仿生 纺织品

——服装与家居产品——

FAUX AND MIMICRY  
TEXTILES

NEW-STYLE  
TEXTILE

中国纺织出版社

■ 纺织产品开发丛书

# 仿真与仿生纺织品

顾振亚 田俊莹 牛家嵘 等编著



中国纺织出版社

## 内 容 提 要

本书主要围绕仿真与仿生纺织品所涉及的生物特征及原理、设计思想、新合纤原料的特征特性、织物组织结构、染整加工技术等方面展开论述,内容充实,反映了仿真与仿生纺织品的最新成果,列举了相关实例,实用性强。

本书可供纤维、纺织品的生产或科研单位的技术人员使用,也可供纺织院校的化纤、纺织、染整及相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

仿真与仿生纺织品/顾振亚等编著. —北京:中国纺织出版社,2007.3

(纺织产品开发丛书)

ISBN 978-7-5064-4267-1

I. 仿… II. 顾… III. ①仿真—应用—纺织品②仿生学—应用—纺织品 IV. TS106

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 016718 号

---

策划编辑:崔俊芳 责任编辑:王文仙 责任校对:楼旭红

责任设计:李 然 责任印制:何 艳

---

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街6号 邮政编码:100027

邮购电话:010—64168110 传真:010—64168231

http://www.c-textilep.com

E-mail: faxing @ c-textilep.com

中国纺织出版社印刷厂印刷 三河市永成装订厂装订

各地新华书店经销

2007年3月第1版第1次印刷

开本:880×1230 1/32 印张:8.625

字数:201千字 印数:1—4000 定价:25.00元

---

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社市场营销部调换

## 前言

随着社会的进步,人们消费理念的变化,“回归自然”逐渐成为人们追求的主题。以自然界为老师,向自然学习为目的对纺织品进行仿真与仿生设计已成为现代纺织研究的重要内容之一。通过查阅大量文献资料,我们深深感到仿真与仿生纺织品的研究和开发不仅提高了纺织品的附加值,更体现了高新技术在纺织领域的应用,使纺织产品更贴近自然,超越自然,甚至具有生物体的功能和智能,由此萌发了编写本书的想法。在中国纺织出版社和天津工业大学材料科学与化学工程学院有关领导的鼓励下,我们组织了在纺织品设计与开发方面有丰富经验的专家和博士编写了此书。旨在向广大科技工作者尤其是纺织科技工作者介绍国内外仿真与仿生纺织品设计、发展现状和最新研究动态。我们希望读者能从中得到有益的启迪,从而为研究和开发有自主知识产权的仿真与仿生纺织品,为我国纺织工业的发展做出贡献。

本书共分七章,包括仿真与仿生纺织品的设计、仿制技术和产品举例等内容,以利于读者参考和深入研究。其中第一章与第七章由顾振亚编写,第二章由田俊莹编写,第三章由霍瑞亭编写,第四章由杨文芳编写,第五章和第六章由牛家嵘编写。

仿真与仿生纺织品的研究与开发不仅体现了高新技术和纺织技术的融合,也反映了不同学科的交叉融合,因此,受专业范围的限制,书中难免会存在不当之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年8月

# 目录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>第一章 仿真与仿生纺织品</b> .....        | 1  |
| <b>第一节 仿真纺织品</b> .....           | 1  |
| 一、仿真纺织品的含义 .....                 | 1  |
| 二、仿真纺织品的发展历程 .....               | 2  |
| 三、仿真纺织品的开发 .....                 | 3  |
| <b>第二节 仿生纺织品</b> .....           | 5  |
| 一、仿生学 .....                      | 5  |
| 二、仿生纺织品的开发 .....                 | 6  |
| <b>第三节 仿真与仿生纺织品研究开发现状</b> .....  | 7  |
| 一、仿真纺织品的研究开发现状 .....             | 7  |
| 二、仿生纺织品的研究开发现状 .....             | 8  |
| <br><b>第二章 新合纤及其纺织品的开发</b> ..... | 12 |
| <b>第一节 新合纤产生的背景</b> .....        | 12 |
| 一、新合纤的产生 .....                   | 12 |
| 二、合纤仿真的发展 .....                  | 13 |
| <b>第二节 新合纤的特征及产品</b> .....       | 14 |
| 一、新合纤的加工技术及产品特征 .....            | 15 |
| 二、新合纤仿真产品 .....                  | 23 |
| <b>第三节 新合纤染整加工工艺</b> .....       | 39 |
| 一、新合纤织物的染整特性 .....               | 39 |
| 二、新合纤织物染整加工 .....                | 45 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第四节    新合纤的未来 .....    | 55  |
| 第三章    化纤仿毛纺织品 .....   | 60  |
| 第一节    化纤仿毛技术 .....    | 60  |
| 一、羊毛纤维的结构特点 .....      | 62  |
| 二、羊毛纤维的特性及毛织物的风格 ..... | 65  |
| 三、化纤仿毛技术 .....         | 67  |
| 第二节    化纤仿毛产品举例 .....  | 101 |
| 一、涤纶仿毛产品 .....         | 101 |
| 二、腈纶仿毛产品 .....         | 108 |
| 小结 .....               | 114 |
| 第四章    仿麻及仿棉纺织品 .....  | 117 |
| 第一节    仿麻技术 .....      | 117 |
| 一、仿麻纺织品开发的意义 .....     | 117 |
| 二、仿麻产品开发的依据及纤维材料 ..... | 118 |
| 三、仿麻织物织造技术 .....       | 123 |
| 四、仿麻织物前处理技术 .....      | 125 |
| 五、仿麻织物染色技术 .....       | 142 |
| 六、仿麻织物整理技术 .....       | 148 |
| 第二节    仿麻产品 .....      | 156 |
| 第三节    仿棉纺织品 .....     | 168 |
| 一、化纤仿棉的依据 .....        | 168 |
| 二、仿棉纺织材料 .....         | 169 |
| 三、仿棉产品 .....           | 175 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第五章 智能仿生纺织品</b> .....     | 189 |
| <b>第一节 仿荷叶纺织品</b> .....      | 189 |
| 一、荷叶效应(lotus - effect) ..... | 189 |
| 二、荷叶效应机理 .....               | 191 |
| 三、仿荷叶效应纺织品的开发 .....          | 198 |
| <b>第二节 蛾的角膜与超微坑纤维</b> .....  | 203 |
| <b>第三节 光显色纤维</b> .....       | 205 |
| 一、光线干涉产生颜色原理 .....           | 205 |
| 二、闪蝶翅膀结构生色机理 .....           | 207 |
| 三、Morphotex 结构生色纤维 .....     | 210 |
| <b>第四节 其他仿生纺织品</b> .....     | 211 |
| 一、仿珊瑚纺织品 .....               | 211 |
| 二、仿植物叶子气孔的织物 .....           | 212 |
| 三、仿鲨鱼皮织物 .....               | 214 |
| 四、会呼吸的纤维 .....               | 216 |
| 小结 .....                     | 216 |
| <b>第六章 仿蜘蛛丝的研究与开发</b> .....  | 220 |
| <b>第一节 蜘蛛丝的结构与性能</b> .....   | 220 |
| 一、蜘蛛丝的分类 .....               | 220 |
| 二、蜘蛛丝的性能 .....               | 223 |
| 三、蜘蛛丝的结构特征 .....             | 229 |
| 四、蜘蛛丝蛋白质大分子的氨基酸组成 .....      | 230 |
| 五、蜘蛛丝的分子结构与机械性能的关系 .....     | 233 |
| <b>第二节 蜘蛛丝的形成</b> .....      | 235 |
| <b>第三节 蜘蛛丝的人工制备</b> .....    | 240 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 一、蜘蛛丝蛋白基因序列的研究 .....  | 240 |
| 二、人造蜘蛛丝 .....         | 242 |
| 第四节 蜘蛛丝的应用 .....      | 247 |
| <br>第七章 仿生纺织品展望 ..... | 252 |
| 第一节 概述 .....          | 252 |
| 第二节 仿生纺织品开发的机遇 .....  | 253 |
| 一、仿生智能纺织品 .....       | 253 |
| 二、纳米技术的应用 .....       | 254 |
| 第三节 仿生纺织品发展前景 .....   | 255 |

# 第一章

## 仿真与仿生纺织品

### 第一节 仿真纺织品

#### 一、仿真纺织品的含义

仿真纺织品通常是指模仿天然纤维及天然纤维的纺织品。仿真纺织品的发展源于对天然纤维的模仿。天然纤维是自然界形成的,它已存在 4000 年以上。人类用天然纤维制成舒适、美观、保暖的服装已有很长的历史。在实践中,人们认识到天然纤维有许多优秀的品质,如:由棉纤维制成的纺织品具有优异的吸水、吸湿、保暖、拒污等性能,是应用历史最悠久、使用最普遍的天然纺织纤维,有“纤维之王”之称;由蚕丝制成的纺织品,其华丽的外观,光滑柔软的手感,良好的悬垂性、蓬松性、隔热保湿性都是其他天然纤维不可比拟的,被誉为“纤维皇后”;而羊毛则以其优良的吸湿、拒水、保暖和形变恢复等性能,成为高档服装的首选纤维材料。根据天然纤维的诸多优点,萌发了人们向天然纤维学习,模仿天然纤维的遐想,试图用人工的方法制备与天然纤维相似的纤维。早在 1743 年,法国化学家柳缪尔等人在观察桑蚕吐丝的秘密后,欲仿照蚕吐丝的进程用桑叶制出相似的纤维来,但由于找不到溶解桑叶的溶剂而失败。直到 19 世纪 80 年代,法国科学家获得从硝酸纤维素制取人造丝的专利,从此开始了再生纤维的发展史。随着工业的发展,尤其是有机合成化学和高分子合成化学工业的发展,以煤、石油、天然气为原料的合成纤维逐渐发展起来,使人们向往的对天然纤维的模仿有了实现的可能。在合成纤维的发展历程中,为模仿天然纤维,特别是对棉、毛、丝的外观和功能的模仿,人们做了大量的研究工作。迄今为止,天然纤维的宏观形态和结构已在很大程

度上反映于合成纤维中,但对天然纤维的微观结构、基本结构单元的模仿,尤其是对羊毛结构性能的模仿,以现今的技术水平尚难以完全实现,而棉纤维则被认为是最难模仿的天然纤维。如今,锦纶、涤纶和腈纶已成为仿天然纤维的主要合成纤维,而仿真丝、仿毛、仿麻、仿棉纺织品以及仿皮革则是目前仿真纺织品开发的主要品种。

## 二、仿真纺织品的发展历程

仿真纺织品的研究主要包括纤维仿真和纺织品仿真两个方面。前者是开发一些新型的化学纤维,使其结构和性能更接近于甚至优于传统的天然纤维;后者是应用仿真纤维,通过织物组织结构的设计和织造技术,借助特殊的染整加工技术,使纺织产品的风格、性能达到仿真的效果。

纤维的仿真实际上是化学纤维的发展史。以涤纶仿真丝为代表的化学纤维仿真策略和仿真技术的发展,经历了从初步仿真丝到趋近真丝乃至超越真丝的历程(表 1-1)。

表 1-1 涤纶仿真丝技术策略的变化

| 年 代         | 策 略            | 特 征                    | 技 术                              |
|-------------|----------------|------------------------|----------------------------------|
| 1960 ~ 1971 | 外观上的仿真丝        | 光泽、悬垂性、柔软性             | 异形截面、碱减量                         |
| 1971 ~ 1976 | 宏观上的仿真丝结构      | 丰满、柔软性、干燥感             | 细特丝、异收缩混纤和复丝                     |
| 1976 ~ 1986 | 微观上的仿真丝结构      | 自然的不均匀性,丝鸣、短纤感、温暖感和挺爽感 | 空气变形、复合假捻、不均匀牵伸、纤维表面改性、非圆形孔的中空纤维 |
| 1986 ~ 1994 | 微观与宏观上的仿真丝织物结构 | 高档真丝织物的手感、蓬松感、超柔软性     | 多步热收缩、纤维超细化、复合纺丝、混入无机微粒、高速纺丝新高聚物 |

### 三、仿真纺织品的开发

开发仿真纺织品首先要研究开发仿真纤维材料,然后以其为原料,通过织物结构设计和织造,借助特殊染整加工,使产品达到仿真的风格。

用于仿真纺织品的原料包括天然纤维、再生纤维和合成纤维,其中合成纤维用量较大,尤其是涤纶及其差别化纤维占比重较多,如:异形纤维、复合纤维、混合纤维、超细纤维、常温可染纤维、着色丝、花式丝及衣用功能纤维等。根据单纤维的线密度分,0.005 ~ 0.25dtex 的纤维适合于仿皮革,0.55 ~ 1.1dtex 的纤维适合于仿山羊皮、仿麂皮织物,1.1 ~ 1.6dtex 的纤维适合于仿毛皮的绒毛,0.55 ~ 1.6dtex 的纤维则更适用于仿真丝等等。此外,差别化纤维与天然纤维或再生纤维混纺、混纤也是仿真纺织品的重要原料。

如上所述,仿真纤维的研究开发是仿真纺织品的源头,仿真纤维按一定的规格织成织物后,尚不能达到仿真的要求,还需经过特殊的染整加工才能使产品的风格、性能达到仿真、超真的效果。

#### 1. 碱减量整理

用氢氧化钠溶液对涤纶织物进行碱减量加工。涤纶表面纤维大分子上的酯键在氢氧化钠作用下能发生水解并溶蚀,导致织物中纤维及纱线间空隙增大,织物重量减轻,从而获得良好的透气性、形变回复性、悬垂性,达到外观酷似真丝的效果。此外,经碱处理后的涤纶织物还具有较好的亲水性,提高了穿着舒适性。

#### 2. 磨毛整理

用金刚砂纸摩擦织物表面使毛绒耸起,或通过机械磨绒将具有绒毛的织物磨绒、剪齐,使织物表面平整而有光泽。超细纤维织物经起绒(磨毛)加工,可获得仿桃皮绒的效果。以超细纤维织物为基布,应用聚氨酯涂层剂进行湿法涂层,再经磨毛加工,使织物表面产生均匀、密集的绒毛,可获得仿麂皮的效果,制得合成麂皮革。

### 3. 功能整理

通过各种功能整理赋予织物抗熔融、阻燃、抗静电、抗起毛起球等功能,使仿真纺织品在性能和外观上更趋于天然纤维。

仿真纺织品的性能主要决定于纤维原料、纱线和织物的组织结构和染整技术,而纤维原料的结构特性和染整技术则起了决定性作用。尽管仿真纺织品的研究已取得很大的成功,但与真正的天然纤维纺织品相比,在性能、外观和加工方法上还存在一定的差距,尤其是涤纶固有的缺点,如:初始模量高、吸湿性差、染色困难、易起静电、易沾污等性能会影响仿真的效果。为改善仿真纺织品的性能,需从改进纤维截面形状和内部结构出发,设计合理的原料配比和织物组织结构,采用合理的染整工艺并开发新型的染色助剂、整理剂等方面来改善仿真纺织品的仿真效果(表 1-2)。

表 1-2 改善仿真纺织品性能的措施

| 改善措施     | 目的和效果                |
|----------|----------------------|
| 截面改性     | 仿丝绸、增加光泽、改进悬垂性、增加干爽感 |
| 细特化      | 降低单丝线密度、改进悬垂性、使手感柔软  |
| 异纤混纤     | 改进弹性和柔性              |
| 高收缩、异收缩性 | 改善手感、提高蓬松性、增加皱感      |
| 共聚 CDP   | 改善染色性,增加花色图案         |
| 共混改性     | 赋予吸湿性、提高染色性,穿着舒适     |
| 减量整理     | 织物失重,改善悬垂、干爽感        |
| 加捻、强捻、假捻 | 形成微小卷曲,改善蓬松皱柔变化      |
| 复合       | 改善染色、弹性、异收缩性、卷曲性     |
| 防污整理     | 提高防污、去污性             |

总之,仿真纺织品的开发覆盖了从高分子材料的制备、纺丝、纺纱、织造到染整加工的每一步技术,它集中体现了高科技、新技术在纺织品开发中的应用。仿真技术发展至今已不仅仅满足于仿真,更以超

过天然纤维(超真)为主攻目标,由过去对天然纤维的外观、手感、性能的模仿,发展到赋予织物某种功能和特性,以满足理想纺织品的三要素,即手感好、外观好和穿着舒适。近年来,形状记忆衬衫、耐久压烫服装、调温服装等的开发成功标志了仿真技术的发展。因此,仿真纺织品的研究是纺织品设计和开发的重要途径,也是当前纺织学科中学科交叉的前沿领域,具有广阔的发展前景。

## 第二节 仿生纺织品

### 一、仿生学

自然界的生物体为了生存和发展,经过亿万年的演变和变化,创造了一种最优的组成和结构,使生物体具有特殊的功能以适应自然。人类在实践中早已认识到生物体具有很多超出人类自身的功能和特性,如:水母能预知风暴;蝙蝠能感受到超声波;甲壳虫能将糖及蛋白质转化为质轻、高强的坚硬小壳;蜘蛛吐出的水溶性蛋白质能在常温常压下变成不可溶、强度极高的丝……。从生物体优异的功能中得到启迪,人们试图通过模仿生物体的结构、形态、功能和行为来设计和制备智能材料以解决所面临的技术问题,这种认知方法就是通常所说的仿生,即向自然学习。其实,人类从大自然获得灵感,利用仿生的思想进行发明创造已有很长的历史。

但仿生学作为一门学科的诞生,是在 20 世纪 60 年代,1960 年 9 月 13 日,在美国召开的第一届仿生学研讨会上,斯蒂尔博士首次提出了仿生学(Bionics)的概念,并定义仿生学是模仿生物系统的原理来建造技术系统,或者使人造技术系统具有或类似于生物系统特征的科学,简而言之,仿生学就是“模仿生物的科学”。仿生学研究的内容主要有力学仿生、分子仿生、能量仿生、信息与控制仿生等。用从以上研究中所获得的知识来创造新的机械、仪器、建筑结构和工艺流程已成为发展现代新技术的重要途径之一。

仿生学是一门涉及生命科学、物质科学、信息科学、脑与认识科学、工程技术、数学与力学以及系统科学等学科的交叉科学。仿生学的研究不仅极大地丰富了人们思维的想象力,拓宽了思维的视野,也将为科学技术的创新提供新思维、发展新原理和新理论。

## 二、仿生纺织品的开发

当前仿生学研究中的仿生材料的研究包含成分和结构仿生、过程和加工制备仿生、功能和性能仿生等内容,是材料发展的重要趋向。专家定义:受生物体启发或者模仿生物体的各种特性而开发的材料称为仿生材料。化学纤维就是最早模拟天然纤维而研究成功的仿生材料之一,因此,可以将仿生纺织品定义为模仿生物体的结构、功能和特性的纺织品。由此可见,仿生纺织品和仿真纺织品都是以自然界为老师,以向自然学习为目的设计的,两者都应属于同一范畴,很难划分界线,即仿真纺织品也属仿生纺织品的范畴,只是后者更突出纺织品对生物体的结构、功能乃至智能的仿生。

近 20 年来,随着化学和生物学的发展,仿生技术已有很大发展,仿生技术在纺织业中的应用也日渐广泛。基于仿生的思路,从生物体的特殊结构和性能获得启发,设计和制备仿生纺织品已取得显著成效。如:由日本帝人公司开发的光显色纤维,是从生长在亚马逊河流域的闪蛱蝶得到启迪的,闪蛱蝶因其翅膀的外壳和基部翅瓣中特有的周期性多层结构,使周身散发钴蓝的色彩,具有金属般的光泽。光显色纤维是由锦纶和聚酯组成的多层结构纱,借助光的干涉作用产生不同的色彩。在研究天然蚕丝结构和性能,成功开发了异形纤维和超细纤维等仿真丝纤维和纺织品的基础上,人们又对蜘蛛丝的优异性能产生了浓厚的兴趣,美国华盛顿大学的研究人员正在试图揭示蜘蛛吐出的水溶性蛋白质是如何变成不溶的、强度比防弹背心还要坚韧的丝的奥秘。科学家们已开始运用仿生学理论研制人造蜘蛛丝,并取得了

相当的成果。美国国家陆军生物技术研究中心(Nexia)采用基因技术研究成的被誉为生物钢的“人造基因”蜘蛛丝,强度比钢大4~5倍,而且柔软无比,可用于制造手术缝合线、防弹衣、装甲防护材料等,受到全世界关注,为仿制蜘蛛丝技术的发展开创了成功之路。

上述例子说明,自然界的生物体为适应环境的需要,具有特殊的结构,并表现出特殊的功能和非凡的智能。若能对纺织品进行仿生设计,那么纺织品也会显出特殊的功能和智能。因此,按仿生的思路来设计纺织品,仿生纺织品的开发将是无穷的。

### 第三节 仿真与仿生纺织品研究开发现状

#### 一、仿真纺织品的研究开发现状

仿真纺织品以其原料充足、价格便宜、产品美观大方、能满足人们着装心理和服饰要求的特点而深受消费者喜爱。仿真产品因其仿造对象种类不同而不同,其性能也随科学技术的发展而不断提高。通过纤维原料的制取、纺纱、织造、印染后整理等高新技术处理,根据化学纤维制成的纺织面料的风格、手感和服用性能,目前主要有仿棉、仿毛、仿真丝、仿毛皮等品种,它们的风格特征基本达到仿真像真,甚至仿真超真的水平。

我国仿真纺织品的研究起步较晚,随着化纤工业的发展,仿真纺织品的研究和开发也有了很快的发展,各种仿真丝、仿毛、仿麻等产品已达到了令人满意的程度。但与先进国家相比,仿真程度尚显不够,更达不到仿真超真的水平。主要表现在纤维原料品种单一、质量较差,纺丝、纺纱、织造和染整技术水平较低,产品的手感、外观、风格、服用性能等仿真效果尚未达到“貌似天然、胜似天然”的水平。此外,仿真纺织品的功能性亦差、品种少。这一方面是由于功能性纤维原料少,另一方面也说明对仿真产品的特种整理方法,如仿真丝绸的丝鸣整理等的研究尚属起步阶段。

根据国际上仿真纺织品发展的趋向,我国化纤仿真产品的发展主要有下述四类:

(1)涤纶仿真产品向超细桃皮绒、海岛仿麂皮产品发展;

(2)开发具有防紫外线、防水透湿、阻燃、防静电、防辐射等功能的化纤仿麻、仿毛及涤粘中长弹力织物;

(3)新合纤产品向新功能、高感性发展;

(4)开发多种纤维混纺、交织织物。

纺织工业是一个系统工程,纺织生产链上,每个环节都会直接或间接影响纺织产品的质量,对仿真纺织品的生产更是如此。以日本开发新合纤为例,新合纤的技术都是基于现有工艺之上的,并没有开发新合纤的特殊技术,新合纤技术覆盖了从高分子材料生产到染整加工的每一步技术,包括高聚物的化学改性,仿制特殊的纤维,又通过牵伸、加捻、织造(针织)、染整,最终制得新设计的仿真产品。日本新合纤研究的成功在很大程度上归于日本的纤维和纺织工业的纵向连接(Vertically integrated structure)的结构特征,其下游(染整)和中游(织造)围绕上游(纤维制造)组成一个集团。此类工业结构通过互相交流信息,共同研究,对新合纤的发展做出了显著的贡献。由此可见,加强纺织业上、中、下游的衔接是十分必要的。若能将企业发展成高分子材料聚合—纺丝—织造—染整—服装一条龙,将有利于仿真纺织品的创新开发,有利于仿真纺织品仿真度的提高。

## 二、仿生纺织品的研究开发现状

随着仿生技术的发展,纺织领域中仿生技术的应用也逐渐增多。从对自然界生物体的结构、形态和功能的研究中得到启发,研制模拟生物现象的仿生纺织品已取得很大发展。如:模拟昆虫角膜结构开发的具有深色光泽的超微坑纤维,该纤维显示出普通纤维所不能达到的艳丽黑色;模拟荷叶表面的凹凸粗糙结构,用超细纤维制成的超拒水