

我国工业织材的发展现状、需求和对策

侯曦¹, 李姝佳^{2,3}, 叶贺^{1,3}, 袁汝旺⁴, 杨建成⁴, 孟焯^{2,3}, 祝宪民¹, 陈革^{2,3*}

(1. 中国纺织机械协会, 北京 100028; 2. 纺织装备教育部工程研究中心, 上海 201620; 3. 东华大学机械工程学院, 上海 201620; 4. 天津工业大学机械工程学院, 天津 300387)

摘要: 工业织材是将纤维原料通过机织、针织、编织、非织等手段加工而成的功能性或结构性新型基础材料, 已广泛应用于航空航天、国防军工、海洋工程、能源环保、交通运输、土木建筑等领域。大力发展工业织材有望使我国占领制造业新的高点, 使我国纺织产业转型升级成为现代工业的新兴资源产业, 对我国纺织产业国际国内双循环具有重要意义。本文分析了工业织材的发展现状、应用场景、产业需求和制造技术, 明确工业织材技术与装备的发展方向 and 重点, 提出了发展对策和建议。研究认为, 制定专项政策支持工业织材的技术研发-装备开发-织材生产-织材应用的产业链协同, 建立各类工业织材装备的标准体系, 建设工业织材领域的创新服务和人才体系, 是大力发展工业织材产业的重要举措。

关键词: 工业织材; 新型基础材料; 纺织产业; 制造技术

中图分类号: T-01; T-9 **文献标识码:** A

Industrial Textile Materials in China: Development Status, Demand and Countermeasure

Hou Xi¹, Li Shujia^{2,3}, Ye He^{1,3}, Yuan Ruwang⁴, Yang Jiancheng⁴,
Meng Zhuo^{2,3}, Zhu Xianmin¹, Chen Ge^{2,3*}

(1. China Textile Machinery Association, Beijing 100028, China; 2. Engineering Research Center of Advanced Textile Machinery, Ministry of Education, Shanghai 201620, China; 3. College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 4. School of Mechanical Engineering, Tiangong University, Tianjin 300387, China)

Abstract: Industrial textile materials are a new type of functional or structural basic materials processed by weaving, knitting, or non-weaving of fibrous materials. They have been widely applied to aerospace, national defense, ocean engineering, energy, environmental protection, transportation, civil construction, and other fields. The vigorous development of industrial textile materials can significantly promote the manufacturing industry of China, transform and upgrade China's textile industry into an emerging resource industry, and contribute to the international and domestic dual circulation of China's textile industry. In this paper, the development status, application scenarios, industrial demand, and manufacturing technologies of industrial textile materials are analyzed, the development direction and focus of relevant technologies and equipment are clarified, and development countermeasures are proposed. Specifically, China needs to formulate special policies to coordinate the technological research, equipment development, production, and application of the industry, establish a standards system for industrial textile equipment, and build systems for innovative services and talent training.

Keywords: industrial textile material; new basic material; textile industry; manufacturing technology

收稿日期: 2021-12-15; 修回日期: 2022-02-25

通讯作者: *陈革, 东华大学教授, 研究方向为新型纺织机械及机电一体化; E-mail: chenge@dhu.edu.cn

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

在百年变局持续深化的新时期，全球纺织产业正处于商业形态进化和经济发展模式升级的关键阶段。欧美发达国家虽然已基本将传统纺织业转移到综合成本更低的发展中国家，但高度重视应用于工业领域的纺织材料及其技术与装备的发展，并将其作为未来制造业发展的重要方向进行扶持。美国提出“革命性纤维与织物”新概念 [1]，由国防部牵头成立创新平台，致力于将传统纺织品发展为具有各种功能的智能纺织品，为美国未来在复杂纤维和功能织物方面的技术引领奠定基础；德国提出“未来纺织”概念 [2]，认为纺织未来不再是传统产业，而是基于新材料、智能产品、节能环保创造出来的全新产品和服务。

在新的国际形势和国内发展背景下，中国纺织机械协会提出“工业织材”新概念，聚焦于产业用纺织品中的一个重要部分——工业领域的基础材料，旨在引导我国制造业对纺织产业有新认识、关注纺织产业发展新动向。工业织材是指由纤维原料通过机织、针织、编织、非织等手段加工而成的功能性或结构性新型基础材料，已在航空航天、国防军工、海洋工程、能源环保、交通运输、土木建筑、管道输送等领域广泛应用。大力发展工业织材产业链上的核心技术装备，有望使我国占领制造业新的制高点，早日转为战略主动；有望使我国工业原材料行业实现重构，助推诸多领域的材料更新，减少金属矿石原料的进口、开采和加工，为我国早日实现“双碳”目标做出贡献；有望使我国纺织产业转型升级成为现代工业的新兴资源产业，对我国纺织产业国际国内双循环具有重要意义。

工业织材的应用领域广泛导致其生产加工与应用没有传统纺织产业链上下游关系，缺乏“链合攻关”突破重大技术关键，制约了工业织材的生产规模与推广应用；生产加工企业之间相对封闭且技术封锁，在装备技术研发上形成了小企业无能力和大企业不愿投入的困境，各专业、产业之间自发协同创新非常困难；装备及产品的相关标准尚未统一，已有标准之间缺乏有效衔接；我国的工业织材行业大多是中小企业，科技创新能力较弱，目前还没有专门面向工业织材企业的科技创新服务平台；专业

技术人员，特别是高层次专业技术人员严重缺乏，在高等工程教育中，尚未有专门的培养体系和方案。

二、工业织材的发展现状

工业织材的技术与装备在全球还处于起步和发展阶段，我国在民用领域的广阔应用前景可实现工业织材的跨越式发展，并可为航空航天、国防军工等领域的发展打下坚实的基础。下面按照机织、针织、编织、非织等工艺分别介绍工业织材的国内外发展情况。

（一）机织工业织材

机织工业织材有单层机织物、多层机织物、三维机织物等，如碳纤维的单层、双层中空、角联锁结构、管状机织物等。

国外生产企业主要有日本东丽株式会社、日本东邦 Tenax 公司、英国福瑞斯国际集团、瑞典 Bitem AB 公司、美国 3TEX 公司等，产品主要应用于航空航天、汽车工业、医疗器械、交通运输等领域。

国内的生产企业主要有南京玻璃纤维研究院、江苏天鸟高新技术股份有限公司、威海拓展纤维有限公司、吉林市神舟碳纤维有限责任公司、四川省新万兴碳纤维复合材料有限公司等，产品主要用于航空航天、轨道交通、新能源、工程车辆、船舶与海洋工程、建筑补强等；浙江理工大学研制的立体织造设备能够织造三维正交、三维角联锁以及三维层对层织物等结构的立体机织物，可实现全平面织物厚度连续变化，相关产品可应用于高性能叶片类构件、外科植入体以及空间结构等。目前，我国已研发了多种三维织材技术装备，具备包括材料设计、纺织预成型、树脂基复合成型等全过程技术的研发能力，产品已应用于我国航空航天领域。三维机织材料在民用基础结构、陆地运输等行业有广泛应用前景。

（二）针织工业织材

针织工业织材有轴向经编结构材料、三维间隔经编结构材料、网眼结构经编材料、纬编结构材料等。

国外设备生产企业主要有德国卡尔迈耶 (Karl Mayer) 公司、德国利巴 (Liba) 公司等, 其设备所生产的产品主要用于风力发电、建筑桥梁、航空航天、车船制造等 [3], 早在 20 世纪 80 年代, 经编轴向复合材料就被美国欧文斯康宁 (Owens Corning) 公司、美国赫氏 (Hexcel) 公司和美利肯 (Milliken) 公司用于航空航天领域 [4], 2007 年经编双轴向织物又被用于德国柯普顿的轻量级复合桥梁中, 减轻了桥体 2/3 的重量 [5]。

国内生产企业主要有常州市宏发纵横新材料科技股份有限公司、常州市润源经编机械有限公司、福建鑫港纺织机械有限公司等 [6], 产品广泛应用于风力发电、建筑材料、轨道交通等 [7]。如纬编轴向织物常用于风力发电叶片、增强混凝土材料、防弹装备等; 经编网眼结构材料产品主要用于制作安全网、增强网以及阻燃防护网等; 除了将高性能纤维应用于针织轴向织物中以外, 金属纤维材料也应用其中, 如镍丝的经编网用于卫星天线, 用纯合金铅纤维丝做芯、外包化学纤维用于防核辐射软铅屏和防护服等 [6]; 经编土工格栅也已在重大工程中有所应用, 如浙江省重点工程——宁波大榭岛大桥引桥工程中使用了 $2 \times 10^4 \text{ m}^2$ 以上国产高强涤纶经编土工格栅, 克服了塑料格栅在填土压实后出现部分断裂的缺点 [8]。

(三) 编织工业织材

编织工业织材有二维编织结构、三维整体编织结构、多层连锁编织结构等。

国外生产企业主要有美国 3TEX 公司、美国波音公司 (美国航空航天制造公司) 等, 产品主要用于机身壁板、全尺寸机翼、机身环框和窗框等结构。美国通用电气公司 (GE) 首先尝试三维编织碳-碳复合材料用于火箭发动机部件, 使其重量减轻了 30%~50% [9], “旅行者” (Voyager) 号飞机、“星舟” (Starship) 1 号公务机、倾斜旋翼 V22 “鱼鹰” 直升飞机等结构中多个关键部件都采用了编织结构织材, 法国将其应用在固体火箭发动机的出口锥、喷管、壳体连接件等 [10]。

国内生产企业主要有江苏高倍智能装备有限公司、徐州恒辉编织机械有限公司、北京柏瑞鼎科技有限公司、扬州巨神绳缆有限公司等, 产品主要用

于交通运输、发动机壳体 [11]、铁路机车配件、飞机刹车预制件、卫星部件、运载火箭壳体、雷达和天线罩等 [10]。东华大学研制的高精度三维球面立体编织机加工了 2022 年北京冬奥会的火炬外壳 (外飘带) 预制体; 天津工业大学将三维整体结构材料用于发动机喷管外壳 [12]。

(四) 非织工业织材

非织工业织材有非织造布、纤维与树脂混合直接成型两大类材料。

国外生产企业主要有美国杜邦 (DuPont) 公司、美国贝瑞塑料集团、德国 Spinnbau 公司等 [13]。产品主要用于医疗健康、建筑材料、土工合成、环保过滤等领域。

国内生产企业主要有泰安路德工程材料有限公司、大连华阳新材料科技股份有限公司、天鼎丰非织造布有限公司、山东永信非织造新材料股份有限公司等, 产品主要用于土建加固、建筑防水、膜结构材料、防护材料等。例如, 纺粘针刺土工布可用于机场、铁路、公路等基础建设; 管状涤纶——苧麻非织造物 / 环氧树脂复合材料等可用于管道修复, 其强度能达到翻衬修复排水或排污管道工作压力需求 [14]。

三、工业织材的制造技术

(一) 机织工业织材

1. 单层机织

单层机织结构织材主要有玻璃纤维布、碳纤维布、土工布、工业用帆布等。从机织原理来看, 传统的各类织机都可加工单层机织结构织材, 但在生产实践中, 使用最多的是剑杆织机、片梭织机和圆织机。

我国剑杆织机生产的土工布幅宽可达 3.8 m; 喷水织机生产的土工布幅宽可达 3.6 m; 国产片梭织机用于生产高强低延伸率机织土工布可达 7.4 m 的幅宽, 填补了国内机织土工布幅宽限制的空白; 圆织机可生产高克重、高抗拉强度和宽幅土工布; 宽幅工业用帆布一般采用剑杆织机、片梭织机; 碳纤维布、玻璃纤维布一般采用剑杆织机加工。

低克重碳纤维织机将展开的碳纤维丝束作为经

纱和纬纱，并按一定的规律交织成片状织物。低克重碳纤维织物比传统的碳纤维织物的纤维体积含量高、重量轻，纤维在织物中的屈曲程度小、缝隙率低、织物表面平整，从而改善复合材料的力学性能。

2. 双层机织

双层剑杆织机主要包括送经、开口、引纬、打纬、卷取五大系统以及割绒装置，可以将连续纤维整体织造成一种结构功能一体化的织物，其上下表层和Z向纤维构成夹芯结构的中空织物，如果经过割绒装置切割，还可形成绒类织物。这种夹芯结构中空织物质地紧密，具有特殊的耐磨性和防滑性，抗倒伏性强，风格品种多样，不仅用于室内装饰、地毯等民用产品，还越来越多地应用在工业品中。

3. 三维机织

三维机织技术可以使纤维沿着多个方向分布并相互交织在一起，从而形成不分层的机织织材整体结构，具有质量轻、力学性能优良等优点 [15]。其关键技术主要有包括织物厚度的扩展与多梭口的实现、平行打纬的实现、不同的开口幅度和经纱张力补偿问题。

4. 圆形机织

圆织机主要有分线盘开口式、凸轮开口式和电磁开口式。分线盘开口式圆织机主要用于生产消防水龙带及水管等密度大的管状织物；凸轮开口式圆织机用于织造土工纺织品，如编织袋、土工布等。这两类圆织机只能生产单层管状织物，对纱线的耐磨性要求较高。电磁开口式圆织机可用于生产多层立体管状织物，其原理是利用凸轮机构和电磁选针器共同作用实现经纱开口，凸轮仅作为综丝提升部件，电磁铁根据织物组织要求选择综丝，位于上、下位置的综片控制经纱形成开口，可以生产多层正交管状立体织物和角联锁结构管状立体织物。

(二) 针织工业织材

1. 轴向经编

轴向经编主要包括三种：单轴向经编结构一般由全幅衬纬经编机生产，其结构具有高度的纤维连续性和线性；双轴向经编结构 [16] 的衬纱一般选取高性能的无捻纱线，织物设计成致密或半网眼

结构，一般使用双轴向经编机生产，还可以与非织造材料、纤维网、胶片或其他材料结合在一起形成复合织物；多轴向经编结构可以在纵向、横向或斜向直接衬入平行的纱线，还包括四个衬纱系统与一个绑缚系统，可将纤维加工成 $+30^\circ$ 、 $+45^\circ$ 、 $+60^\circ$ 、 $+90^\circ$ 、 -30° 、 -45° 、 -60° 、 0° 多角度铺层的功能一体化织材。

2. 三维间隔经编

经编间隔组织是由双针床经编机生产的一类三维立体效应经编组织结构。间隔织物可应用于衬垫材料，有良好的回弹性、透气透热性，易洗快干，可用于床垫、坐垫、睡垫、浴缸垫、摩托车坐垫等；网状经编间隔织材增强的自凝固混凝土，其刚度、强度可得到显著提高；用于鞋材，可以形成不同程度弹性、透气、耐磨、硬挺的区域；经编间隔织材便于埋入电极材料，制得各种智能纺织品；经编间隔织材的表面与橡胶进行复合，然后充入高压气体，可形成具有一定硬度、表面平整的充气板材；特殊的负泊松比经编间隔织物的能量吸收程度和抗冲击性能，适合用于防护材料领域，比如防弹、防刺、工程防护等方面。

3. 网眼结构经编

在建筑领域，安全网、增强网以及阻燃防护网等是网眼结构经编织物。单针床拉舍尔经编机生产平型防护网可满足安全系数低的应用需求，双针床经编机上生产带有圆柱形网结的防护网可满足相应安全系数较高的应用需求。

在生物医用器械领域，疝修补网片、软组织修补网、血管支架、心脏瓣膜等经编网眼结构的应用广泛，其特点在于依附性高、渗水率可控、延展性可控并可压缩。

在航空航天领域，经编网眼结构轻质稳定、结构多样的特点使其主要用于电池基板材料和卫星金属天线网。

4. 三维成形经编

通过组织结构与经编工艺组合变化完成不同形状的三维结构成形。经编组织具有防脱散性，其织物在破损时可保持较高的结构稳定性与力学性能。

精密经编成无缝状态的三维成形结构主要用于特殊医用材料，如人造血管、医疗短裤和纱布固定网等；整体经编形成的军用伪装网主要用于国防军

工领域,其关键在于结构的稳定性和耐用性;聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚对苯二甲酸乙二酯(PET)等原料通过一次整体经编技术主要用于生产人造草皮,具有流程短、效率高和绿色环保的特点。

5. 纬编

纬编指将纱线沿横向弯曲成圈并互相串套而成的稳定结构。主要包括单面纬编、双面纬编、轴向纬编。纬编针织物作为增强材料的增强体具有以下优点:第一,延展性与柔顺性较好,适宜树脂转移模压复合材料的加工;第二,结构分布均匀,纤维取向稳定,可以避免层压复合材料中易形成的片状结构和脱层 [17]。

(三) 编织工业织材

1. 二维编织

二维编织来源于古老的手工编绳方法。其编织过程中会有多根纱线沿不同方向运动(通常是在同一平面上),在织物成型的方向相互交织、缠绕而得到平面或线绳状织物。如二维旋转编织包括绳缆编织和五月柱编织 [18]。

2. 立体编织

行列式立体编织。携纱器由编织机底盘上的轨道带动整行(整列)移动,从而使纱线交织形成织物。底盘结构中的携纱器(纱线)阵列经过 4 次移动,恢复到初始形状 [18],称为“四步法”编织。经过工艺调整,还有八步法、二步法。

旋转式立体编织。其可用于编织异形截面的三维预制件,例如 L 形异形编织预制件。将立体旋转编织机底盘上的拨盘机构更换成角轮机构,利用角轮的旋转驱动携纱器,带动纱线交织形成立体织物。

六角形立体编织。六角形三维编织机的基本构型为有六个齿翼的角轮,任一角轮与相邻角轮之间的缝隙恰好拼成一个整圆,单个角轮便可多容纳两个携纱器。含有六角形角轮的编织底盘在面积相同的情况下,能够比旋转式立体编织机多容纳约 38% 的携纱器 [18]。此外,四边形立体编织的原理与六边形立体编织类似。

(四) 非织工业织材

非织造布制造技术一般按照纤网的成网方法、加固方法、纤网的结构及类型等分类。按照加工工

艺路线分为成网方法和加固方法。成网方法有干法成网、湿法成网和聚合物挤压法成网,加固方法主要包括机械加固、化学黏合、热黏合。不同的工艺变化和加工方法相组合,可以生产出各种规格与结构的产品。

纤维与树脂混合直接成型包含纤维层压、纤维缠绕、纤维拉挤、短切纤维混合树脂喷射等。预浸是这类成型工艺中的关键步骤,可以使纤维达到较好的力学性能。后续工艺有模压成型、树脂注射成型、缠绕成型以及拉挤成型。模压成型是先将需成型的预浸料预热,然后施加一定的压力成型获得所需形状的制品;拉挤成型工艺可以获得截面一致形状各异的型材和纤维含量较高、性能优良、成本低廉的复合材料 [19]。

国内致力于工业织材制造技术与装备的研发,主要涉及到高密复杂结构件预制体自动成型技术与装备、轻质“骨架”自动成型工艺及智能装备等方面,可以满足国内航空航天、海洋工程、建筑交通和新能源等各领域的需求,具备了工业织材的研发与制造能力,甚至我国在三维立体编织技术与装备方面与国际先进水平处于并跑阶段。但国产装备在可靠性和产品适应性等方面与国外先进水平仍有一定差距。

四、工业织材的重点应用与需求

(一) 土木建筑领域

由于钢筋不耐腐蚀,服役年限较长的钢筋混凝土老旧建筑面临加固改造。截至 2019 年 5 月,各地上报的需改造的老旧小区共有 1.7×10^5 个 [20],累计投入超过 4 万亿元。老旧建筑改造的具体实施方案中包含对地上结构进行改建或加固,用以工业织材为基础的复合材料(如碳纤维钢筋混凝土、纤维编织网增强混凝土等)代替钢筋混凝土。

工业织材的生产能耗较传统钢铁型材有显著下降,以工业织材为基础的型材自身力学性能较传统钢铁型材和传统拉挤型材也有较大提升。当前我国玻璃纤维的吨纱生产能耗为 0.35 tce [21],而粗钢的吨钢生产的综合能耗为 0.551 tce [22]。以圆管型材(外径 180 mm、内径 160 mm、长 6000 mm)为例,生产能耗对比如表 1 所示。整体来说,编织拉挤玻

纤型材和编织拉挤碳纤型材能耗明显降低，力学性能优于钢型材。

表 1 纤维增强复合材料型材与钢型材设备能耗与性能对比

型材种类	单位质量设备能耗 A_i / kgce (1 t质量)	相同体积设备能耗 B_i / kgce	型材性能最大轴向拉力 F_i / N	型材性能最大抗弯扭矩 M_i / (N·m)
钢型材	26.80	26.80	2.14×10^6	8.60×10^4
传统拉挤玻纤型材	15.52	4.18	1.50×10^6	6.02×10^4
编织拉挤玻纤型材	14.39	3.69	2.41×10^6	9.68×10^4
编织拉挤碳纤型材	17.27	3.54	6.42×10^6	25.8×10^4

(二) 桥隧工程领域

据交通运输行业相关数据统计，2021年1—10月，全国共改造公路危旧桥梁7256座[23]。全国公路桥梁有85.15万座，共计 2.269×10^7 m，年均增长1万余座，公路桥梁存在缺陷急需维修的占40% [24]。用碳纤维复合材料索代替钢索，还可用于斜拉桥或悬索桥拉索，其质量相比于钢索 / 缆减轻近85%，而其抗拉强度是钢索的7倍。虽然单位质量造价碳纤维拉索高于钢索，但在2500 m及以上的大跨径下，碳纤维拉索性能优越，可实现索锚一体化，锚固率100%，性价比更高[25]。

(三) 管道输送领域

由于我国陆地与浅海的石油及天然气资源急剧减少，近海油气田勘探已逐渐迈向1500~3000 m的深海区，高压负荷和安装运输成本剧增导致传统钢制管材已不再适用，而逐渐用纤维复合材料管（碳纤维 / 玻璃纤维增强复合材料为基体，加热塑性耐磨材料为保护层）替代，同时也可用于修复老旧的钢制管道。以碳纤维复合材料管为例，从经济性角度将之与无缝钢管对比，使用年限可增加一倍，年均费用可降低约40%，这也推动了深海运输用管材的“全非金属化”逐渐实现[26]。

(四) 交通运输领域

高速铁路运行区间的轨道为无砟轨道结构，

用玄武岩纤维复合材料增强无砟轨道板可将绝缘性能提高59%~74%，保证轨道电路传输性能与列车运行的安全性[27]。此外，玻璃纤维筋（网）还代替钢筋用于超大直径泥水盾构，如汕头苏埃通道建设期间，采用了玻璃纤维板以及单侧玻璃纤维筋加固的施工法完成长约3047.5 m、直径约15 m且穿越复杂地层的海底隧道盾构段[28]。2021年8月31日，全国首批的18辆“红船号”碳纤维新能源巴士在浙江嘉兴正式落地，该车身采用的是航空碳纤维复合材料，与传统金属材料相比，其整车强度提高了约10%，质量减轻约30%，能耗降低约15% [29]。

(五) 海洋工程领域

海工用缆绳通常在资源开发和装备设施施工时使用，例如系泊、锚固、拖拽、起吊等[29]。传统多用钢丝缆绳，现在逐步被纤维缆绳替代。这源于纤维复合材料制成的绳索可用于深度达3000 m的深海油井，而用钢制绳索最大深度只能到1500 m。2020年中国海洋石油集团首次采用国产聚酯缆绳作为半潜式平台固定缆，在中国南海海域下潜深度为1500 m [26]。

(六) 其他应用领域

除以上应用场景外，工业织材还广泛应用于国家战略领域和重要民生领域，工业织材作为复合材料的“骨架”，其新的成型方式正在为复合材料的应用加工提供更广阔的市场前景。无论是航空航天、国防军工等战略发展需要，还是碳中和、碳达峰发展战略所需，工业织材代“钢”都是大势所趋。

五、工业织材技术与装备发展方向与路径

(一) 发展方向

1. 机织

重点发展蜂窝织物织机、平面多轴向织机、双层剑杆织机、低克重碳纤维织物生产成套装备、三维中空状织材织造技术装备等，可将高性能纤维加工成有空间隔距的双层及多层织物，可应用于高速列车壳体、航空复合地板、轻质型材、高强充气织

物、轻质隔音建材等。

2. 针织

重点发展多轴向纬编、圆形经编技术装备、带衬纬间隔织物的针织圆机、多轴向经编机等，将纤维加工成多角度铺层的功能一体化织材，应用于海洋工程用网类材料、过滤膜等。重点发展超厚、高强、重载充气织物经编装备，采用空间网布双层编织技术生产的织材可加工成复合充气织物。

3. 编织

重点发展高性能索缆编织装备，相关产品可应用于海洋工程用索缆、斜拉桥或悬索桥拉索等。重点发展专用编织技术装备，用于生产高性能纤维变截面回转体、变径编织体、管状立体织物，可应用于导弹、航天器上的零部件。

4. 非织

重点发展高性能短纤维预制体成型技术装备，将碳纤维、石英纤维、金属纤维等高性能纤维经过切断、梳理、铺网、成网、固网等工序，制成各类预制体，再经后道工序制成不同产品，可应用于刹车片、储能飞轮、毡垫和隔热材料，以及航空航天、军事等领域。

重点发展纤维复合材料型材拉挤成型技术装备，将高性能纤维长丝或短纤维，通过拉挤成形工艺与树脂复合，形成纤维复合材料型材，可形成异型截面等多种形状，具有轻质高强等优异特性，可在诸多领域替代部分钢材和有色金属型材。

(二) 发展路径

工业织材涉及纺织、材料、机电和信息技术等学科领域，交叉融合特征明显，其发展遵循“一代材料、一代工艺、一代装备”的规律，具体发展路径如下。

研究工业织材形成过程中纤维、纤维聚合体、织材与机械系统的相互作用，揭示工业织材的形成机理、耦合机制和力场行为等内涵核心问题。保障核心工业织材品种，填补高端工业织材空白。

基于工业织材结构形状和力学性能指标研发工业织材成型方法及工艺路线，注重工业织材形成过程中的屈曲变形及力场变化，对比不同成型方法对工业织材各类性能指标的影响并进行效能评估，建立纤维-机械-工业织材的生产工艺流程体系，有效控制工业织材的成型结构及性能指标。

利用现有的纺织装备及其先进制造技术，融合织材工艺、机电、信息等先进技术，构建集数字化设计与制造、智能控制技术与织造工艺专家系统于一体的高端工业织材装备研发体系，自主研发自动化、数字化、网络化和智能化的工业织材高端装备并产业化应用。

基于先进的智能制造系统与工业织材高端装备，优化工业织材的智能产线，构建包括装备、工艺与产品在内的工业织材全流程智能制造标准化体系，并为工业织材的智能制造提供装备、工艺与产品的特征数据。

六、对策建议

(一) 加强工业织材产业应用的政策支持

一是需要国家在专项政策上支持工业织材的“技术研发-装备开发-织材加工-织材应用”的产业链协同和发展。加强建材、医疗、轨道交通、汽车等跨部门和跨行业的协调沟通，完善系统采购通道，从环保、降耗、节能等方面制定政策，鼓励扶持自主品牌工业织材产品及生产装备参与采购竞争。

二是国家层面设立专项推进工业织材应用。在绿色制造、高性能制造、关键新材料领域设立推进工业织材制造的重点专项，开展包括工业织材设计、生产、应用、标准与安全以及工业织材制造示范试点建设。

(二) 加强工业织材技术装备的联合攻关

一是建议通过国家重大专项，引导工业织材制造企业、高校和科研院所组织联合攻关，突破若干高性能工业织材装备的重大关键技术，支持有能力的企业形成示范应用，达到国际先进水平。

二是联合纺织产业集聚区建立工业织材制造云平台。由国家和地方政府主管部门联合相关行业协会，在工业织材产业集聚区以基础条件好的工业织材企业为核心，培育和建设面向工业织材制造企业的工业织材制造云平台，为工业织材协同设计、制造提供平台支撑。

(三) 建立完善的工业织材及装备标准体系

一是工业织材行业需要整体设计标准体系，建

立和完善工业织材及装备的检测标准、认定体系。政府和行业主管部门出台政策,规范现有工业织材及装备的功能检测;针对新兴工业织材产品建立和完善相关的标准体系,提升标准的整体水平,基本解决新兴工业织材产品标准缺失和滞后问题,为提高新兴工业织材产品质量水平创造条件。

二是促进工业织材产业链上下游之间的标准协调配套和标准的国际化。政府主管部门出台相关政策,指导工业织材产业与医疗、建筑等下游领域的衔接;促进工业织材产业的通用基础标准与方法标准等与国际的标准接轨。

(四) 培育工业织材领域的创新服务体系

一是在纺织产业集聚区,布局和培育与产业链技术相关的技术中介服务机构。由政府主管部门与行业协会联手,市场调节相结合,推进建立有一定规模的、服务专业化、运行规范化的产业链相关技术中介服务机构,汇聚一支具有较高专业素质的工业织材产业链相关技术中介服务专业人员队伍,为相关的中小纺织企业提供技术咨询、成果转化服务。

二是推进工业织材行业共性技术研究与应用研究的联动。由政府主管部门以政策支持,加大对工业织材行业共性关键技术研发的投入和供给。通过政府采购促进工业织材行业共性关键技术的转移和扩散,促进工业织材中小纺织企业的自主创新。

(五) 加强工业织材领域的人才队伍建设

一是建议行业教育主管部门指导加强工业织材领域的专业技术人员队伍建设和技术培训。校企联合开展工业织材技术人才定制式培养,建立高校、高职、中职院校与企业联合培养工业织材技术应用型人才的机制,支持“产学研用”结合建立实训基地,依托基地定制式开展工业织材技术人才培养,同时开展相关企业人员的技术培训。高校要加强工程科技人才的培养。

二是依托重大科技攻关项目、重点学科以及科研基地的合作项目,对工业织材领域技术的模范代表大力培养,将人才队伍建设作为重要的考核指标,并积极建设工业织材创新团队。

三是加强培养工业织材领域的复合应用型人才。纺织特色高校要改进工业织材相关专业的人才培养方案,加强纺织与材料、机械、信息、计算机

及相关应用领域学科交叉融合,培养复合型工业织材领域的专业学位研究生;改进工业织材相关专业本科生课程设置,增加工业织材类专业课程,加强工程实践,培养综合能力强的工程专业人才。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: December 15, 2021; **Revised date:** February 25, 2022

Corresponding author: Chen Ge is a professor from the College of Mechanical Engineering, Donghua University. His major research field is new textile machinery and mechatronics. E-mail: chenge@dhu.edu.cn

参考文献

- [1] 美国成立纤维与织物制造创新机构 [J]. 纺织检测与标准, 2016, 2(2): 50-51.
The United States established an innovation institute for fiber and fabric manufacturing [J]. Textile Inspection and Standard, 2016, 2(2): 50-51.
- [2] 葛轶. 德国 futureTEX 项目的探究 [J]. 国际纺织导报, 2017, 45(10): 4-6.
Ge Y. Study on futureTEX project in Germany [J]. International Textile Review, 2017, 45(10): 4-6.
- [3] Gries T, Raina M, Quadflieg T, et al. Manufacturing of textiles for civil engineering applications [J]. Textile Fibre Composite in Civil Engineering, 2016: 3-24.
- [4] 刘乐乐, 康勇, 罗敏, 等. 产业用针织结构材料研究进展 [J]. 纺织导报, 2021 (5): 70-74.
Liu L L, Kang Y, Luo M, et al. Research progress of technical knitted structural materials [J]. Textile Review, 2021 (5): 70-74.
- [5] 叶青, 缪旭红, 蒋高明. 经编轴向织物在增强混凝土上的应用 [J]. 产业用纺织品, 2011, 29(4): 27-31.
Ye Q, Miao X H, Jiang G M. Application of warp knitted axial fabric on reinforced concrete [J]. Industrial Textiles, 2011, 29(4): 27-31.
- [6] 万爱兰, 丛洪莲, 蒋高明, 等. 针织技术在产业用纺织品领域的应用 [J]. 纺织导报, 2014 (7): 28-32.
Wan A L, Cong H L, Jiang G M, et al. Application of knitting technology in industrial textile [J]. Textile Review, 2014 (7): 28-32.
- [7] 祁飞. 针织技术在产业用纺织品领域的应用 [J]. 纺织报告, 2019 (5): 10-11.
Qi F. Application of knitting technology in industrial textile field [J]. Textile Report, 2019 (5): 10-11.
- [8] 王新厚. 我国经编土工格栅的开发与应用 [J]. 产业用纺织品, 2000 (2): 5-7.
Wang X H. Development and application of warp knitting geogrids in China [J]. Industrial Textiles, 2000 (2): 5-7.
- [9] 汪星明, 邢誉峰. 三维编织复合材料研究进展 [J]. 航空学报, 2010, 31(5): 914-927.
Wang X M, Xing Y F. Research progress of three-dimensional braided composite materials [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2010, 31(5): 914-927.

- [10] 郝新超, 胡杰. 三维编织技术在航空航天中的应用 [J]. 中国科技信息, 2019 (21): 25–26.
Hao X C, Hu J. Application of 3D weaving technology in aerospace [J]. China Science and Technology Information, 2019 (21): 25–26.
- [11] 蒋金华, 陈南梁, 钱晓明, 等. 产业用纺织先进基础材料进展与对策 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(5): 51–59.
Jiang J H, Chen N L, Qian X M, et al. Advanced base materials for industrial textiles: Progress and countermeasures [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(5): 51–59.
- [12] 陈利, 赵世博, 王心淼. 三维纺织增强材料及其在航空航天领域的应用 [J]. 纺织导报, 2018 (S1): 80–87.
Chen L, Zhao S B, Wang X M. Development and application of 3D textile reinforcements in the aerospace field [J]. Textile Review 2018 (S1): 80–87.
- [13] 向阳. 非织造材料的技术进步和国内外差距 [J]. 产业用纺织品, 2005 (5): 1–8.
Xiang Y. The Technological progress of nonwovens and the gap between domestic and foreign countries [J]. Industrial Textiles, 2005 (5): 1–8.
- [14] 张淑洁, 伏立松, 王瑞, 等. 管道修复用涤纶-苧麻非织造物/环氧树脂复合材料厚度设计 [J]. 复合材料学报, 2019, 36(12): 2805–2814.
Zhang S J, Fu L S, Wang R, et al. Thickness design of polyester ramie nonwoven/epoxy composite for pipeline repair [J]. Journal of Composite Materials, 2019, 36(12): 2805–2814.
- [15] 聂建斌. 角联锁织物的开发及性能研究 [D]. 苏州: 苏州大学 (硕士学位论文), 2007.
Nie J B. Development and properties of angle interlocking fabric [D]. Suzhou: Soochow University (Master's thesis), 2007.
- [16] 魏光群, 蒋高明, 缪旭红. 多轴向经编针织物的应用现状与发展展望 [J]. 纺织导报, 2008 (3): 70–72.
Wei G Q, Jiang G M, Miao X H. The application and outlook of the multiaxial warp-knitted fabrics [J]. Textile Review, 2008 (3): 70–72.
- [17] 戴青春. 纬编针织结构增强复合材料的制造及其力学性能研究 [D]. 上海: 东华大学 (博士学位论文), 2007.
Dai Q C. Fabrication and mechanical properties of weft knitted structure Reinforced Composites [D]. Shanghai: Donghua University (Doctoral dissertation), 2007.
- [18] 李政宁. 六角形编织立体织物成形原理及其复合材料性能研究 [D]. 上海: 东华大学 (博士学位论文), 2019.
Li Z N. Study on forming principle of hexagonal braided three-dimensional fabric and properties of composite materials [D]. Shanghai: Donghua University (Doctoral dissertation), 2019.
- [19] 方立. 连续纤维增强热塑性复合材料制备及其性能的研究 [D]. 上海: 华东理工大学 (博士学位论文), 2012.
Fang L. Study on preparation and properties of continuous fiber reinforced thermoplastic composites [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology (Doctoral dissertation), 2012.
- [20] 关于全面推进城镇老旧小区改造工作的指导意见 [J]. 上海建材, 2020 (4): 1–4.
Guidance on comprehensively promoting the reconstruction of old residential areas in cities and towns [J]. Shanghai Building Materials, 2020 (4): 1–4.
- [21] 中国玻璃纤维工业协会. 玻璃纤维行业“十四五”发展规划[EB/OL]. (2021-09-08)[2021-12-10]. http://www.cfia.xin/page64?article_id=1838.
China Fiberglass Industry Association. Development plan of glass fiber industry in the 14th Five-year Plan [EB/OL]. (2021-09-08) [2021-12-10]. http://www.cfia.xin/page64?article_id=1838.
- [22] 2020年重点用能行业能效“领跑者”经验分享之一: 钢铁行业能效“领跑者”实践经验 [J]. 冶金自动化, 2021, 45(2): 36.
Experience sharing of “Leaders” of energy efficiency in key energy using industries in 2020: Energy efficiency in steel industry [J]. Metallurgical Automation, 2021, 45(2): 36.
- [23] 中国交通新闻网. 前10月全国改造公路危旧桥梁7256座 [EB/OL]. (2021-11-11)[2021-12-10]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/11/content_5650291.htm.
China Transportation News Network. In the first 10 months, 7256 dilapidated highway bridges were renovated nationwide [EB/OL]. (2021-11-11)[2021-12-10]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/11/content_5650291.htm.
- [24] 王海良, 常春伟, 杨新磊, 等. 玄武岩纤维在桥梁工程中的应用前景及需解决的问题 [J]. 铁道建筑, 2011 (9): 15–17.
Wang H L, Chang C W, Yang X L, et al. Application prospect of Basalt Fiber in bridge engineering and problems to be solved [J]. Railway Construction, 2011 (9): 15–17.
- [25] 张志田, 吴涛, 方志. 基于高性能材料的大跨径斜拉桥抗风性能分析 [J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2018, 45(5): 11–18.
Zhang Z T, Wu T, Fang Z. Wind resistance analysis of long-span cable-stayed bridge based on high performance materials [J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2018, 45(5): 11–18.
- [26] 周鑫月, 李金儒, 裴放. 碳纤维复合材料在深海油气领域中的应用 [J]. 纤维复合材料, 2018, 35(1): 10–14.
Zhou X Y, Li J R, Pei F. Application of carbon fiber composite in deep-sea oil and gas field [J]. Fiber Composites, 2018, 35(1): 10–14.
- [27] 杨洋. 新型纤维复合筋增强无砟轨道板及其基本性能研究 [D]. 南京: 东南大学 (博士学位论文), 2016.
Yang Y. Study on the basic performance of a new type of ballastless track plate reinforced by fiber composite reinforcement [D]. Nanjing: Southeast University (Doctoral dissertation), 2016.
- [28] 王德林. 玻璃纤维筋在地铁盾构施工中的应用分析 [J]. 设备管理与维修, 2021 (2): 141–142.
Wang D L. Application analysis of glass fiber reinforcement in subway shield construction [J]. Equipment Management and Maintenance, 2021 (2): 141–142.
- [29] 宋炳涛, 姜润喜, 李甜. 海洋工程用合成纤维缆绳国内外应用与发展现状 [J]. 纺织导报, 2021 (1): 76–79.
Song B T, Jiang R X, Li T. Application and development status of synthetic fiber cable for offshore engineering [J]. Textile Review, 2021 (1): 76–79.