

纺织导报[®]

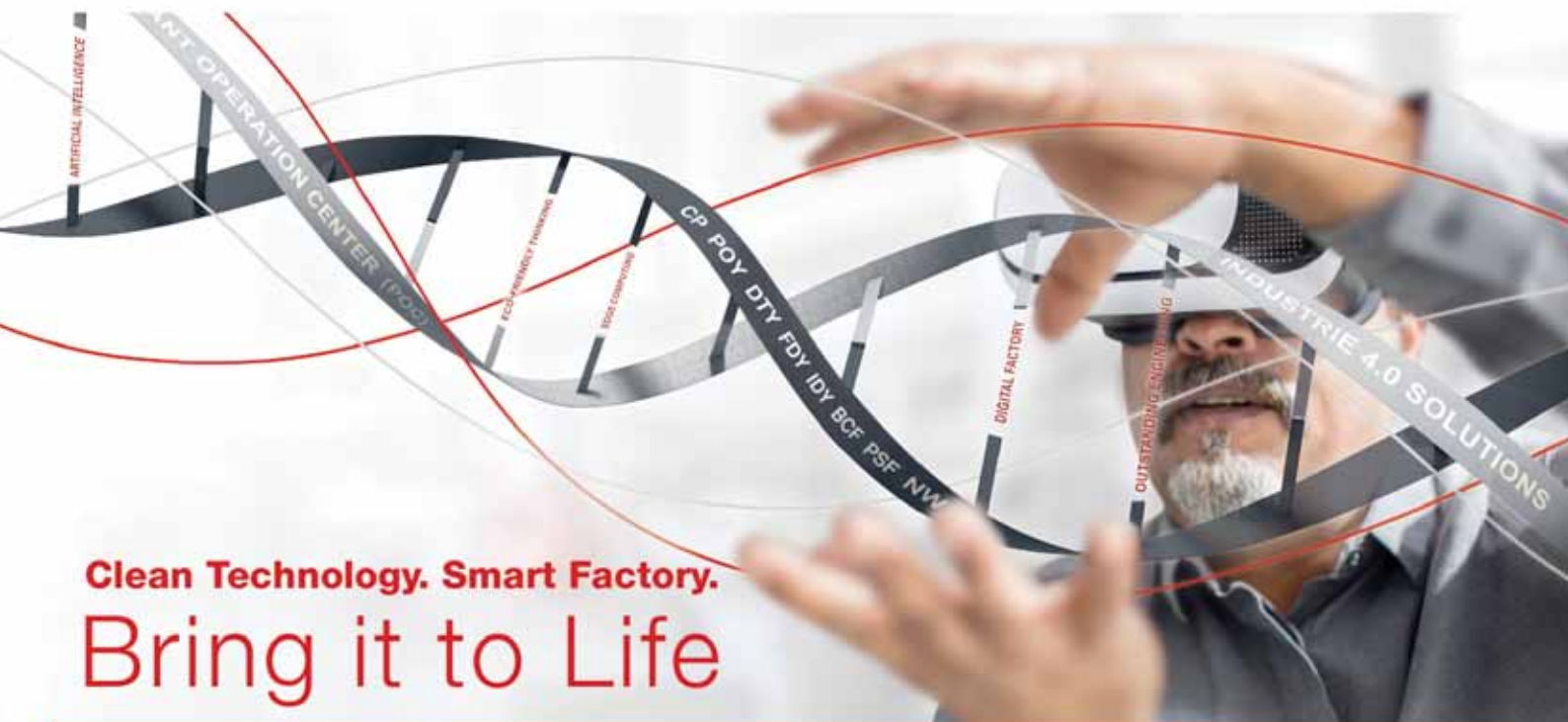
CHINA TEXTILE LEADER

产业用纺织品专刊



全国百强科技期刊

TECHNICAL TEXTILES
(Supplement)



Clean Technology. Smart Factory.
Bring it to Life

从熔体到长丝、纤维和非织造布

欧瑞康化学纤维事业板块拥有欧瑞康巴马格、欧瑞康纽马格和欧瑞康非织造布产品品牌，是全球长丝纺丝系统、加弹设备和BCF地毯丝设备、短纤纺丝以及非织造布解决方案的市场领导者。更多信息请访问我们的网站 www.oerlikon.com/manmade-fibers/zh/



oerlikon
barmag

oerlikon
neumag

oerlikon
nonwoven

ISSN 1003-3025



CN 11-1714 / TS

2019年9月

中国纺织信息中心

《纺织导报》产业用纺织品专刊



2016



2017



2018



2019

环保过滤
用纺织品

安全防护
用纺织品

航空航天
用纺织品

土工与建筑
用纺织品

获取更多信息：

info@texleader.com.cn或致电010-84463638-8830

www.texleader.com.cn



编者按

新中国成立70年来，纺织行业沐风栉雨，砥砺前行，始终保持支柱产业地位不动摇。作为带动纺织行业转型升级和结构调整的重要力量之一，我国产业用纺织品步入战略发展的快车道，经济效益持续改善，技术进步成效显著，在医疗卫生、环保过滤、安全防护、航空航天、土工建筑等众多国民经济相关产业中的作用日益突显。

在产业用纺织品的众多品类中，土工与建筑用纺织品是铁路、公路、机场、水利水电、体育场馆等基础设施和民生工程建设不可或缺的基础性材料。尤其是随着近年来全球多个地区在基础设施方面的投资升级，这一行业迎来巨大的发展机遇。在产品质量不断提升、服务体系日臻完善的基础上，一批具有特殊功能、智能、绿色环保特点的新型土工与建筑用纺织品不断问世，在提升工程建设质量、改善生态环境、提高人们生活品质等方面发挥了重要作用。

在此背景下，本刊今年以“土工与建筑用纺织品”为主题，希望通过系统研究，呈现全球土工与建筑用纺织品领域的发展现状及趋势，研究内容涵盖市场进展、行业政策以及原材料、加工工艺及装备、新产品、新应用、新趋势等。

需要说明的是，由于土工用纺织品是土工合成材料的重要类别，本刊特别对我国土工合成材料行业的现状及产业链上其他相关产业的进展进行了梳理，以期对行业整体的健康可持续发展提供有益借鉴。在此，特别感谢中国土工合成材料工程协会的相关领导、专家对本次研究的大力支持。

由于编者学术水平有限和专业限制，加上时间仓促，本专题在研究执行过程中难免有所疏漏，在此恳请读者理解并见谅。

本刊编辑部

edit@texleader.com.cn

- 全国中文核心期刊
- 全国百强科技期刊
- 中国核心学术期刊 (RCCSE)
- 第二届优秀科技期刊一等奖
- 中国期刊方阵双奖期刊
- 首届中国期刊奖提名奖
- 第二届国家期刊奖提名奖
- 第三届国家期刊奖百种重点期刊
- 中国期刊全文数据库文献源

- 中国科技期刊数据库文献源
- 万方中文期刊数据库文献源
- 中文科技期刊数据库文献源
- 英国《科学文摘》(SA/INSPEC) 文献源
- 美国《化学文摘》(CA) 文献源
- 俄罗斯《文摘杂志》(AJ) 文献源
- 美国《乌利希国际期刊指南》(ULRICHWEB) 文献源
- 美国《纺织技术全文数据库》(TTC) 文献源
- 美国《纺织技术索引》(TTI) 文献源

主管 | Authority in Charge

中国纺织工业联合会
China National Textile and Apparel Council

主办 | Sponsor

中国纺织信息中心
China Textile Information Center

出版单位 | Created by

《纺织导报》编辑部
Editorial Department of "China Textile Leader"

出版人 | Publisher

乔艳津 Qiao Yanjin

主编 | Editor in Chief

董奎勇 Dong Kuiyong

执行主编 | Executive Editor in Chief

李波 Li Bo

副主编 | Deputy Editor in Chief

赵永霞 Zhao Yongxia

运营总监 | Operations Director

宋富佳 Song Fujia

编辑部主任 | Editorial Director

马磊 Ma Lei

编辑 | Editor

宋富佳 Song Fujia

陈佳 Chen Jia

张荫楠 Zhang Yinnan

刘凯琳 Liu Kailin

张娜 Zhang Na

英文编辑 | English Editor

王佳月 Wang Jiayue

网络编辑 | Online Editor

郑爱明 Zheng Aiming

编辑助理 | Editor Assistant

韩俊霞 Han Junxia

海外编辑 | Overseas Editor

Elena Aravecchia

社址 | Address

北京市朝阳区霞光里15号霄云中心210室
Rm 210, Xiao Yun Center, No.15, Xia Guang Li,
Chaoyang District, Beijing, China
邮政编码 | Post Code
100026

编辑部 | Editorial Department

[电话] 010-84463638-8856

[E-mail] edit@texleader.com.cn

广告部 | Advertising Department

[电话] 010-84463638-8830

[E-mail] info@texleader.com.cn

发行部 | Circulation Department

[电话] 010-84463638-8850

[E-mail] service@texleader.com.cn

出版日期 | Publication Date

每月8日

设计 | Design

北京博实励扬广告有限公司

印刷 | Printing

北京中科印刷有限公司

国际标准连续出版物号 ISSN 1003-3025

国内统一刊号 CN11-1714/TS

国内发行 北京报刊发行局

国内邮发代号 82-908

国外发行 中国出版对外贸易总公司

国外发行代号 DK11033

定价 | Price

国内 (港、澳、台邮费另收) ¥ 25.00

国外 US \$ 25.00

广告经营许可证 京东工商广字第0318号

开户行 中国工商银行北京东长安街支行

户名 中国纺织信息中心

账号 0200053409089100427

广告垂询 | Advertising Contact

Europe

Sabine Dussey - International Journals

Düppelstrasse 7, D-42781 Haan

E-mail: sabine.dussey@dussey.de

Tel.: 49 2129 348390

Fax: 49 2129 3483910

Italy

Elena Camilla Aravecchia

Via Ludovico Muratori, 55-20135 Milano, Italy

E-mail: elena.aravecchia@libero.it

Tel.: 39 02 5469805

North America

Bob Moore

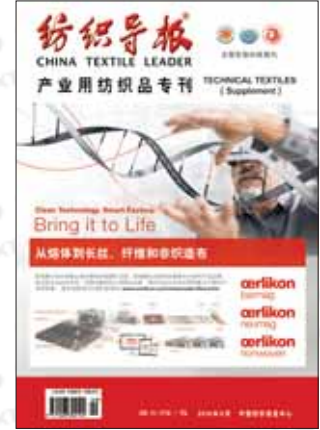
E-mail: ramco4032@gmail.com

Tel.: 1 480 595 0349



编辑合作 | Editorial Partner
美国纺织化学家与染色家协会

2019年专刊



本期封面广告

Oerlikon

《纺织导报》第五届专家委员会

主任委员 李斌红

副主任委员 胡发祥 陈宝建

委员 (按姓氏笔画排序)

丁 辛 于伟东 马崇启 王 军 王际平
王建平 王济永 付少海 龙海如 乐德忠
刘玉军 刘宗君 任家智 张大省 肖长发
芦长椿 杨卫忠 杨志敏 杨 萍 陈 廷
陈宇岳 陈 英 陈南梁 陈 喆 狄剑峰
吴雄英 卓小苏 郑天勇 武海良 房宽峻
郁崇文 赵庆章 赵晓明 洪海沧 施楣梧
高卫东 高辉清 徐卫林 徐谷仓 徐惠君
顾 浩 韩光亭 蒋高明 程博闻 靳向煜
蔡再生

海外委员 王训该 潘 宁

《纺织导报》官方网站

www.texleader.com.cn

《纺织导报》
官方微信



本刊声明

本刊来稿一般不退, 请自留底稿。在1个月内未得到本刊采用回复, 作者可另行处理。请勿一稿多投。

本刊作者责任自负, 因文稿而引起的法律纠纷, 本刊不承担连带责任。

本刊已出网络版, 向本刊投稿者如无特别声明, 均视为允许本刊将其作品在不同介质上发表。



目次

CONTENTS

- 5 土工合成材料及建筑用纺织品的发展现状及趋势展望
Status-quo and Developing Trends of Geosynthetics and Building Textiles

- 6 土工合成材料的发展现状及趋势展望
Status-quo and Development Trend of Geosynthetics

刘凯琳 赵永霞 张娜

- 29 土木工程用化学纤维技术的最新进展
Latest Trend of Man-made Fiber Technology for Civil Engineering

芦长椿

- 35 经编结构材料在土工和建筑领域的应用与发展
Application and Development of Warp-knitted Materials in Civil Engineering and Building Fields

蒋高明 高哲 周濛濛

- 40 可降解非织造材料在土木工程领域的应用
Application of Degradable Nonwoven Materials in Civil Engineering

聂渡 戴家木 李素英

- 44 环境土壤修复用土工合成材料的研究及应用
Research on the Application of Geosynthetics for Environmental Soil Remediation

周真佳 金良平 柯勤飞 靳向煜

- 49 功能性耐候型土工布的技术现状及发展趋势
Development Status and Application Prospect of Functional Environment-resistant Geotextiles

位华瑞 丁彬 俞建勇 王先鋒



目次

CONTENTS

- 54** 智能土工合成材料的应用新进展
Latest Developments of Smart Geosynthetics

张娜 赵永霞

- 57** 布鲁克纳：为非织造土工布热定形提供领先的解决方案
Brückner: Supply Innovative Solution for Nonwoven Geotextiles Heat-setting

- 58** 访谈
Interview

- 79** 建筑用纺织品的发展现状及趋势
Status-quo and Development Trend of Building Textiles

刘凯琳 赵永霞

- 90** 植物纤维增强绿色复合材料在建筑应用中的性能研究
Study on Performance of NFPR in Building Application

王春红 鹿超

- 95** 建筑用膜结构材料的发展现状和趋势
Application Status and Trend of Membrane Materials in Architecture Fields

杨涛 丁辛 杨旭东 李乔

- 98** 智能纺织材料在建筑物健康监测和自修复领域的研究与应用
Development and Application of Smart Textile Materials in Health-monitoring and Self-healing of Architecture

陆春红 许庆丽 景媛媛 杨晓娜 金艳红 胡文鑫 张坤

土工合成材料及建筑用纺织 品的发展现状及趋势展望

Status-qno and Developing Trends of
Geosynthetics and Building Textiles

策 划：本刊编辑部

统 筹：刘凯琳 赵永霞

特邀专家：王先锋 王春红 芦长椿 李 乔 李素英 杨广庆 杨宝和 张 坤
陆忠民 周诗广 崔占明 蒋高明 靳向煜 詹良通 (按姓氏笔画排序)

参 与：宋富佳 马 磊 王佳月 张 娜 张荫楠



土工合成材料的发展现状及趋势展望

Status-quo and Development Trend of Geosynthetics

文 | 刘凯琳 赵永霞 张 娜

引言

Introduction

近年来,世界各国均已意识到基础设施在经济中的支柱作用,积极出台相关产业发展政策和鼓励措施,加大基础设施投资。据统计,2016—2040年,全球基础设施建设投资需求将增至94万亿美元,年均增长3.7万亿美元,其中,我国作为世界最大的经济体之一,基础设施投资约占全球总投资的30%。在推进基础设施建设中,岩土工程发挥着关键作用。可以说,基础设施是城市发展的血脉和骨架,而岩土工程是基础设施的基础。

土工合成材料是一种新型的岩土工程材料,它以天然或人工合成的聚合物为原料,制成各类产品,然后置于土体内部、表层或各层土体之间,起到加强或者保护土体等作用。事实上,凡是应用于土木工程建设的材料,都可称之为土工材料。随着产品的不断丰富,应用领域的进一步拓展,土工合成材料的内涵和范围也有所外延,目前,其在公路、铁路、水利、电力建筑、海

港、机场、军工、环保等各个工程领域均有应用,依据其应用及相关标准,可分为土工织物、土工膜、土工复合材料、土工格栅、土工网、土工格室、土工发泡材料、土工排水材料以及其他土工合成材料等九大类(图1)。

从国内外来看,土工合成材料行业已发展成为技术含量高、应用领域广、产品附加值高、产业带动性强的一类产业,在亚洲、欧洲以及北美洲等地区形成了一定的市场规模及一批具有实用价值的创新成果。土工用纺织品是土工合成材料中的重要品类,也是产业用纺织品中除医疗、过滤用纺织品外用量最大的产品品类,本文在土工合成材料的大框架内,重点对土工用纺织品的发展历程、加工工艺、市场应用等进行介绍,并对基于土工用纺织品的土工合成材料的技术创新和产品开发等进行分析与展望。



图1 土工合成材料的分类

作者单位: 中国纺织信息中心。

土工用纺织品的分类、加工工艺及应用领域

Overview of Geotextiles Classification, Processing Technology and Application Areas

土工用纺织品可定义为“可用于土壤或其他任何土木工程中的具有渗透性的纺织材料”。1926年，美国南卡罗来纳州的相关部门首次将棉机织物应用于公路建设中，这是现代土工织物的雏形；20世纪60年代，土工用纺织品在欧洲、美国、日本等国家和地区逐渐被推广使用，但大多为机织土工布，主要应用于护岸防冲刷等工程中；到70年代末80年代初，非织造技术开始加速发展，给土工用纺织品的新产品开发带来了不小的驱动力。随着科技的进步和应用的拓展，土工用纺织品的加工工艺变得日益专业，并在全球范围内的各项建设工程中得到广泛使用，目前已成为产业用纺织品领域的重要组成部分。

1 土工用纺织品的分类

土工用纺织品原料来源广泛，加工方式多样，因此种类繁多。从原料来分，可分为天然纤维土工布和合成纤维土工布，前者主要包括棉纤维土工布、麻纤维土工布、椰壳纤维土工布等，而后者主要指聚酯（PET）、聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）土工布等；从加工工艺来分，可分为机织土工布、针织土工布、非织造土工布以及土工布复合材料几大类，其中针织土工布主要以经编土工布为主，而非织造土工布则包含了纺粘法土工布、针刺法土工布、热熔黏合法土工布等各种类型；从产品形状来看，有平面状、管状、带状、格栅状、绳索状和其他异形土工布（图2）。

1.1 按原料分

1.1.1 天然纤维材料

天然纤维主要来源于自然界中的动植物，具有可生物降解、可再生等优点。虽然天然纤维土工布在土木工程中的用量不大，但其在短期岩土工程中的临时保护、土地修复以及植被保护等方面具有天然优势。首先，天然纤维易与土壤混合，可增强土壤的肥力和有机质，有利于植被的生长；其次，天然纤维优异的吸湿能力在控制土地侵蚀中起到重要作用；此外，天然纤维的可降解性能避免了废弃土工布的处理难题，成本相对合成纤维来说更具优势。

(1) 麻纤维

麻纤维依照所在植物部位的不同可分为韧皮纤维和

叶纤维两大类，在土工织物中主要采用韧皮纤维，包括黄麻、亚麻、苎麻等。其中，黄麻在吸湿性、机械强度以及与土壤的融合能力等方面优势明显，是土工织物中应用最多的天然纤维，尤其适用于农业覆盖和土壤保护等领域。经过涂层整理的黄麻土工织物，其使用寿命可延长20年，曾被应用于机场跑道和斜坡上的植被保护。此外，黄麻织物在土壤中降解后可形成木质瘤，增加土壤的肥力。

(2) 椰壳纤维

椰壳纤维性能与麻纤维相近，但手感更加柔软、条干更均匀，吸湿性及蓬松性均优于麻纤维，因此在土工织物中同样有着很好的应用前景。目前椰壳纤维土工布已被用于防止土壤侵蚀以及道路建设中，将其与沥青结合使用可用于路面的反射裂缝控制。印度、斯里兰卡、菲律宾等是椰壳纤维的主要供应国，尤其是印度，其椰壳产量占全球的50%左右，在土木工程中应用较多。

1.1.2 合成纤维材料

与天然纤维相比，合成纤维具有强度高、耐腐蚀等优点，现阶段几乎所有的土工织物中都会用到合成纤维，包括PET、PE、PP、聚酰胺（PA）、聚乙烯醇（PVA）等。其中，PP目前的使用量最大，PET次之；而PA由于整体性能和成本等原因，在土工织物中的应用较少。除此以外，聚氯乙烯（PVC）、乙烯共聚物改性沥青树脂（ECB）、氯化聚乙烯（CPE）等其他具有特殊功能的聚合物材料也有少量应用。例如ECB常被用于国内外隧道、堤坝防水工程的板材中。

(1) PP

PP密度较小，其强度可与中强的PET、PA相媲美，标准状态下几乎不吸水，耐磨性仅次于PA，具有良好的耐腐蚀性，但对光、热的稳定性较差，易老化，易于蠕变，具有化学惰性和耐油性能。目前我国使用的织造型PP土工织物以机织产品为主，有长丝和扁丝两种产品，克重一般为100 ~ 300 g/m²，通常加工成土工模袋。现阶段国内PP的价格较高，且加工技术与国外相比还不够成熟，一定程度上限制了其在土工织物领域的应用。

(2) PET

PET是现阶段全球产量和用量均最大的一类合成纤维

维,除了传统的服用,目前其在产业用纺织品领域的应用也十分广泛。PET的强度较高,抗蠕变能力强,保形性和尺寸稳定性优异,具有一般的化学惰性,但碱性条件下强度降低。有研究证明,在pH值为7~10的条件下,PET的使用寿命仅有50年。全球来看,PET在土工布中的用量仅次于PP,主要用于解决路基沉陷及翻浆冒泥等问题,如作为土石坝的排水系统、地下管道排水层、软弱路基加固层、各种堤岸的护坡垫肩等工程的滤层,以及各项工程中的加筋材料等。由于其价格较低,在我国的土木工程中用量较大。

(3) PE

PE成本低,易于拉伸,其化学性质受密度、结晶度以及相对分子质量的影响较大,以密度大小来分,主要有低密度聚乙烯(LDPE)和高密度聚乙烯(HDPE)两种。后者因具有良好的耐温变性、机械强度高、抗蠕变性能好,适用于土工格栅的生产,目前我国的土工格栅多以其为原材料。据统计,PE在全球土工织物中的使用量居第3位。

1.2 按加工工艺分

1.2.1 机织

机织土工布是使用较早的一种土工布,常见的组织结构为平纹或斜纹。其主要特点是强度高、延展率低、结构紧凑。根据使用原料的种类,常分为扁丝机织土工布和长丝机织土工布两种;按照成品的形态又可分为单层机织土工布和多层机织土工布。

所谓扁丝就是通过挤出塑料薄膜,经纵向分切、单轴向拉伸后,高聚物长链分子沿拉伸方向取向,使纵向强度大大提高而横向强度下降,再经热定形制成的丝。扁丝的制造设备称为扁丝机组,制造过程主要分为成膜、切割、拉伸、定形以及卷绕等5个部分,各部分的工艺参数对扁丝性能均有影响。扁丝机织土工布主要应用于低承载力土壤的分离和加固。

我国生产土工织物的织机一般是改造过的宽幅棉或毛织机,其产品性能与国外有较大差距。片梭织机作为一种新型织机,其显著特点之一是引纬时在机器中间位置无转接,消除了纬纱额外的加速和压力,在生产高性能土工用纺织品时具有一定优势。织造设备的某些特性会对土工织物的最终性能产生一定影响。

1.2.2 针织

针织是将纱线制成土工织物最简单的方法之一,分为纬编和经编两种形式。前者加工而成的织物拉伸性

能较好,可一次成形为管状结构,用于过滤以及排水管袋制备,目前使用较少。经编织物相对而言更加稳定,具有较高的抗拉强度,在切割时也不会脱散,工业适用性很强。目前,经编土工织物主要包括经编轴向土工织物、双层经编土工织物以及经编复合材料类土工织物。现代经编机结构相当复杂,一般在一些高性能土工格栅等的加工中才会使用。

1.2.3 非织造工艺

非织造土工布是指采用非织造工艺将短纤或者长丝直接制成网状或絮状物,采用这种工艺的好处是纤维在产品结构中可随机三维分布,产品具有一定的厚度和蓬松度,更有利于土工织物过滤、排水和防护等功能的实现。非织造土工布主要分为厚型和薄型两种,前者主要用作滤层材料,后者一般与其他类型的材料复合使用。

从成网方式来看,非织造土工布的加工主要有长丝成网和短纤维铺网两种,国外也有很多企业采用湿法成网的,但这种方法目前在我国尚未普及应用。从加固方式来看,主要有针刺、热熔黏合及化学黏合等3种,其中针刺加固最常用,热熔黏合有时也用于短纤的加固,但更常用于土工膜的加工,化学黏合工艺较少使用,但在天然纤维土工布的加工中优势较明显。

针刺技术主要应用于长丝纺粘针刺和短纤针刺两种工艺。纺粘针刺技术的工艺流程短、产量高,其产品在同规格条件下的抗拉强度、撕裂强度、断裂伸长以及纵横向强力比等均优于短纤维针刺土工布,因此适用于增强和加固等工程。但设备投资也大,产品品类切换的灵活性较差,适用于大批量生产。

短纤针刺技术的产品厚度大、密度大、结构蓬松,吸水性和透水性能好,抗形变能力强,尤其适合做反过滤材料。其工艺流程短,适用原料品种多,设备结构相对简单,一次性投资较少,因此短纤针刺土工布是目前我国用量最大的非织造土工布之一。

1.2.4 复合工艺

复合土工布一般由两种或者两种以上类别的土工材料通过特殊方法复合而成,由于所用材料以及复合方式的多样性,很难进行具体分类,一般分为多层土工布复合材料以及土工布基体的多层复合材料。前者是指由两种或两种以上土工布复合而成的产品,由于各种土工布性能不同,复合在一起后可实现优势互补;后者是由一种或者多种土工合成材料组成的复合产品,其中至少包含1层土工布,与其复合的材料可以是土工膜、土工格

栅、土工衬垫芯等各种不同的土工合成材料。本文重点阐述多层土工布的复合工艺。

复合方法主要包括机械法和热熔黏合法两种，其中机械法是采用针刺技术或者缝编技术对土工布进行复合，热熔黏合法是用热轧黏合或超声波黏合对土工布进行复合。将复合加工过程与产品的制造工艺相结合可以避免工序重复从而降低成本，常见的复合工艺如表1所示。

表1 常见的土工布复合工艺

加工工艺	工艺过程描述	对产品的影响	所用设备或方法
热黏合	加热纤维材料到其熔点以上，纤维熔融后可永久黏合在一起	产品尺寸稳定性、拉伸强度提高	红外元件 常规煤气炉
轧光	在高温高压下用加热的金属辊压紧土工织物	产品对温度的稳定性提高；通过调整材料密度来标定其水力性能；产品厚度降低	轧光机
涂层和浸渍	在材料表面或内部加入树脂或其他化学物质	土工织物表面及内部改性；产品硬度提高；土工布的防水或拒水性能改善	树脂浴 浸轧机 刀片涂布 喷涂
化学黏合	高温下在两层材料之间添加黏合剂，并施加压力使其黏合在一起	可以同时获得两种材料的混合性能	层合机 粉末涂布机
缝合	用纱线将两种土工布中的部分材料融合在一起	将两条土工布并排缝合能增加产品尺寸；可获得两种土工材料的性能	缝纫机 超声焊接机 绗缝机器
分条	将土工布分成两条或者更多条	可以按照需求调整土工布的宽度	圆锯 分切机 刀

2 土工用纺织品的功能

土工用纺织品在土木工程中的应用范围非常广泛，功能多样，目前主要涉及隔离、加固、排水、过滤、防护、防渗等六大功能。

2.1 隔离功能

将土工织物置于两种不同的岩土材料间，防止其相互混合或掺杂，形成稳定的界面，有利于两种岩土材料保持各自的整体性与完整性。隔离用土工织物必须具有较高的强度，能够承受外部载荷，主要应用于公路、铁路、机场等建设工程中不同地基层之间的隔离以及土石坝、河道治理等水利工程中。

2.2 过滤作用

土工织物的过滤作用就是保证在有流体通过时其周围的细小土壤颗粒能够被保持。作为过滤材料的土工织物一般应具有以下两个主要功能：一是良好的透水能力，保证液体在流过时不会被截留；二是较多的孔隙以及较小的孔径，可以阻止土体颗粒的大量流失，保护土体不被破坏。过滤作用是土工织物最常见的功能，主要应用在公路、铁路等交通设施，水利工程以及海绵城市建设等领域。

2.3 排水功能

排水作用指的是土工织物可以收集和传输岩土工程中的水或者其他液体。土工织物是良好的透水材料，在各个方向上均有较好的排水能力，其用作排水材料时常与排水芯、穿孔管等其他元素结合使用。排水土工织物主要用于道路路基、挡土墙排水，水利工程中的土石坝排水以及城市排水等。

2.4 加固

土工织物可以用来增加软土的承载能力，或者在有滑动风险的情况下增加土壤与其他光滑表面的摩擦力，增加其稳定性。在土木工程中，这种加固作用又被称为加筋，这是道路工程中常见的一种应用。除此之外，土工织物也被用于边坡的加固以及软弱地基的处理等。

2.5 防护

土工织物可以将集中的应力扩散开，防止土体等因外力作用而受到破坏。防护型土工织物主要应用于护岸、护坡、河道治理、海岸防潮以及地下工程等。

2.6 防渗

土工织物的防渗作用主要体现为防止水或者有害液体等的泄漏。此类土工布以非织造布与薄膜复合较多，一般用沥青、树脂、橡胶等进行涂层，增加其防水性及密闭性，主要用于水利工程中的堤坝和水库防渗，以及蓄水池、游泳池、污水池、垃圾填埋场等的防渗防漏。

3 土工用纺织品的主要应用领域

土工用纺织品在土木工程中的应用非常广泛，包括公路、铁路、机场、港口、水利、风电、环保、市政等多个领域，不同的应用场所对其性能、类别、形状等要求各异，下文主要围绕土工用纺织品应用较多的领域进行阐述。

3.1 在道路加筋中的应用

土工织物在道路加筋中的用量非常大，主要是与道路的颗粒层相互作用，以提高这些支持保护层在使用期间的完整性和结构支撑能力。虽然用于道路加筋的土工织物类型多样，但对每一种产品而言，其表面都应具有一定的粗糙度以保证横向约束力，否则其表面的岩土或者砾石滑动就无法实现加固作用。因此，对于土工织物尤其是机织土工布来说，其表面越粗糙，产品的性能就越好；对于针刺非织造材料而言，在道路加固过程中，土壤颗粒等更容易积聚在其表面，使其摩擦响应机制优于机织产品，但其拉伸模量要远低于后者。

土工织物在道路加筋中的应用主要包括软土地基上

的道路建设（包括公路以及铁路建设等）。在临时道路或者施工平台上，由于其地基土壤太软无法支持初始的施工作业，采用土工织物加固可降低施工设备进入现场所需铺设的碎石厚度，维护路基的稳定性，是一种有效且低成本处理方式；用于道路建设，可降低路基厚度，避免了长期使用的维护问题。

在道路建设中，土工织物除了加筋外还需与其他功能协同发挥效用，例如将碎石与路基隔开的分离功能、将软弱地基中的水导出到集料层的排水功能等。

3.2 在海事工程中的应用

海事工程主要指港口工程、海岸工程以及海上工程，土工织物在其中的作用主要是保护陆地、人造结构以及海水中人造结构免受海水冲击并保持其结构稳定，因此织物的水力机械性能和耐久性至关重要。目前，土工织物在海事工程中主要有两种应用形式：一种是单独作为过滤或提高结构稳定性的材料使用；另一种是作为填充外壳，内部填充沙土等用作抗侵蚀和结构稳定材料。

织造型土工布在海洋工程中常以土工袋、土工管以及土工容器等形式使用。PP机织土工布常被用于海洋工程，其具有中等孔径（0.3 ~ 0.6 mm）和中等水通过流量（15 ~ 50 L / (m² · s)），对砂土具有较好的过滤效果，良好的抗拉强度和伸长率使其能够保持形状结构的稳定性。复合土工织物具有优异的耐磨性、抗冲击性和抗紫

外性等，因此非常适于暴露在海洋环境中长期使用，并且可与周围环境融为一体。

3.3 在土壤侵蚀防护中的应用

土工织物通过吸收和储存大量的水以减缓其对土壤表面的冲蚀和破坏，从而可实现对土壤的侵蚀防护。对于农作物种植来说，土壤侵蚀是一个亟待解决的问题。土壤侵蚀会导致地表被破坏，甚至造成建筑物倒塌。在侵蚀控制的应用中，土工用纺织品主要以土工侵蚀控制网、开放式侵蚀控制毯、编织土工布或土工合成衬垫等形式出现。天然纤维土工织物主要用于缓慢流动的小水道周边的山坡侵蚀防护，它们在植被生根之前保护裸露的土壤免受侵蚀，这种土工织物可随时间降解，为土壤提供一定的肥力，促进植被生长。

3.4 在环保防渗中的应用

防渗工程领域，土工用纺织品主要应用于污水处理、垃圾填埋、尾矿处理、煤粉灰堆厂等场合。在这些领域，废弃物长时间堆放后会产生气体和渗滤液等有害物质，对土壤和地下水等造成污染，因此大多使用防渗复合土工膜来防止此类现象发生。防渗复合土工膜一般由土工织物和土工膜复合而成，可分为“一布一膜”和“两布一膜”两种结构。该类产品除具有良好的防渗效果外，还应具有抗拉、抗撕裂、耐顶破等优异的物理性能，以及在施工过程中耐高温、易于焊接等特点。

基础设施建设与环保领域需求推动土工合成材料市场快速增长 Infrastructure Construction and Environmental Protection Requirement Promote Rapid Growth of Geosynthetics Market

1 全球土工用纺织品市场概况

土工用纺织品行业起步于20世纪60年代，近年来受政策刺激、经济发展及技术进步等因素的共同影响实现了快速发展，主要表现为产业规模不断扩大、产品性能不断提高、产品结构不断丰富、应用领域不断拓展等。根据美国知名市场研究机构Grand View Research（GVR）的研究，2018年全球土工用纺织品的市场规模约为47.518亿m²，预计到2025年将达到76.11亿m²，预期内的年均复合增长率为7.0%（图3）；具体到各主要经济区，亚太地区的用量远超其他地区，年均复合增长率高达8.1%，其次是欧洲和美洲地区，占据了全球土工用纺织品的高端

市场，而中东和非洲地区的增长相对较缓，但也可达5%以上。

我国是目前全球土工用纺织品用量最大的国家。自2010年起，我国土工用纺织品进入高速发展期，行业的技术创新步伐不断加快，应用全面铺开，年均复合增长率保持在6%以上。目前，已形成约500家土工用纺织品企业为主的产业规模。根据中国产业用纺织品行业协会的统计，2018年我国土工用纺织品的产量约106.24万t，同比增长6.7%（图4）。国产土工用纺织品在大量国家重点工程中得到应用和普及，未来我国土工用纺织品在世界范围内的占比将继续领先。

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

芳香族化合物等污染物浓度很高，为避免低水平垃圾填埋中渗滤液未及时处理或者随意排放、填埋气体无组织排放等问题，必须采用有效的液体防渗和气体防渗材料。在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中也明确指出，要做好垃圾渗滤液的处理处置。

美国作为垃圾无害化处理的先行者，其《资源保护

与恢复法》(RCRA)已强制推广使用土工膜和土工合成黏土衬垫(GCL)作为垃圾填埋和防渗墙的底部衬垫。相信随着人们环保意识的增强和国家环保法规的日益严格，以土工布和土工膜相结合的土工合成材料将在安全规范的高水平垃圾填埋中发挥重要作用。

土工合成材料领域的技术进步与产品创新

Technological Progress and Product Innovation in the Field of Geosynthetics

1 生产装备的优化

生产装备的性能水平直接关系着土工合成材料行业的技术进步与产品开发。土工合成材料的生产工艺复杂，包含了以针织、机织、非织造等形式生产的土工用纺织品，以吹塑、延压、挤压等形式生产的土工膜，以及用挤出、冲孔、拉伸等形式生产的土工格栅等。下文主要以土工用纺织品为例，介绍一些具有代表性的生产设备。

1.1 非织造土工布生产设备

非织造土工布具有良好的各向同性和延展性，易吸收张力，是目前全球用量最大的土工用纺织品品类，在我国亦如此。根据中国产业用纺织品行业协会的统计，目前我国市场上用非织造工艺加工的土工用纺织品占比超过70%。

短流程、高效率的非织造布工艺备受土工布生产厂家关注，国内外设备生产商也积极改进与创新，推出了一些有针对性的解决方案。

Dilo(迪罗)集团多年来致力于高效率、短流程非织造生产线的开发，已成功向土工用纺织品行业提供了多条完整的生产线，旗下Dilo Temafa公司可提供开松准备、开松和混合装备，Dilo Spinnbau公司提供梳理成网装备，Dilo Machines则提供交叉铺网、牵伸以及针刺装备，各司其职，强强联合。近期，其推出的Dilo-Isomation工艺可确保纤网质量均匀，从而降低纤维消耗，迪罗牵伸机VE改变针刺后纤维方向，以达到产品横纵向强力一致；DILO HyperLayer交叉铺网机在最新款设备上对多个细节进行了改进，据称是目前为止市场上唯一能实现在铺网宽度为4 m左右时喂入速度达200 m/min的设备(具体视纤维线密度、产品克重、纤网层数和铺网宽度而定)，且能保持很高的铺网精度；Baltromix

Pro型混纤设备具有更高的混纤速度，精准控制纤维喂入量，可实现更高产能和更低的能耗；DI-LOOM OD-II SLHaV型针刺机(图18)在其布针系统中配备了新型托网板6000X，可确保均匀的针迹分布，对于土工布使用性能的提升具有重要作用。



图片来源：迪罗集团。

图18 DI-LOOM HaV Hyperpunch针刺机

在非织造土工布应用中，通常要求产品具有较好的耐蠕变性，通常利用增强网格、增强格栅或化学黏合、热黏合网格布来实现，但传统的加工方法耗时长、效率低，在生产过程中存在很多弊端。迪罗开发的新型针刺技术HyperTex很好地解决了这一问题。该技术利用Ontec自动化公司的网格布生产设备，使网格的短纤纱或长丝内联并松散排列于上下两层网之间。各针刺毡可进行在线预刺，网格布在两个退绕单元之间喂入，而后再一道进行针刺。这种工艺的优势在于生产速度快，网格布的加工和后道针刺速度均可达到40 m/min，停机时间极短，工作宽度和网孔的尺寸可随意调整。

Andritz(安德里茨)在非织造布加工工艺方面经验丰富，其针刺技术在成熟度以及生产能力上均有出色表现。其Spunjet生产技术实现了制造设备的三合一(图19)，将非织造布的拉伸强度提高了25%~30%，耐撕裂强度提高了50%~70%，生产速度高达1 000 m/min，非常适用于土工用非织造布的生产。

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

土木工程用化学纤维技术的最新进展

文 | 芦长椿

摘要: 与钢纤相比, 聚合物纤维的直径小、长径比大, 耐腐蚀性能更具优势, 可有效提升纤维增强混凝土的使用性能和寿命。文章重点介绍了土木工程用聚烯烃纤维、聚乙烯醇纤维技术的新进展以及碳纳米材料在超高性能混凝土中的应用研究现状, 并就纳米纤维素用于水泥市场的前景做了简要论述。

关键词: 纤维增强混凝土; 碳纳米材料; 纳米纤维素; 杂化系统; 绿色混凝土

中图分类号: TU599; TQ342.71; TQ342.6

文献标志码: A

Latest Trend of Man-made Fiber Technology for Civil Engineering

Abstract: Compared with the steel fiber, polymer fibers have advantages of lower diameters, high aspect ratio and stability in a corrosive environment and thus improve the performance and lifetime of fiber-reinforced concrete. This article specifically introduces the new development of polyolefin fiber and polyvinyl alcohol fiber in civil engineering as well as the current application status of carbon nanomaterial in ultra-high-performance concrete. It also looks forward to the prospect of nanocellulose used in cement.

Key words: fiber reinforced concrete; carbon nanomaterial; nanocellulose; hybrid system; green sense concrete

1 纤维增强混凝土的发展概况

纤维增强混凝土(FRC)已被广泛用于建筑及土木工程领域, 通常FRC的纤维含量在1% ~ 2%之间(按体积计), 所用纤维的长径比在30 ~ 150内。与普通混凝土相比, FRC的使用可以使混凝土用量减少70% ~ 80%。以150 cm的刚性混凝土管(RCP)和薄型纤维增强混凝土管(TWCP)为例, 前者为两层钢纤结构刚性管, 管壁厚15 cm, 而后者使用单层钢纤网和增强纤维, 厚度仅为6.25 cm, 即纤维增强混凝土刚性管的重量可减少50%。

水泥工业是CO₂排放的大户, 根据测算, 全球水泥行业每年排放的CO₂约占全球工业排放总量的5%。如使用纤维增强混凝土替代常规混凝土, 可节省一半的混凝土用量, 相当于减少一半的CO₂排放量。目前纤维增强混凝土已大量用于建筑和土木工程施工, 主要涉及如下类别的产品: 混凝土板材、水泥瓦、屋顶片瓦、混凝土管材(刚性管、半刚性管和挠性管)、大型混凝土板、预制板、安全库房构筑物、抗冲击构筑物、喷浆水泥及幕墙等。

近年来, 碳纳米材料、纳米纤维素在超高性能混凝土(UHPC)、智能混凝土市场展现出巨大的应用潜力。随着天然气催化热裂解工艺制备低成本碳纳米管(CNTs)和碳纳米纤维(CNFs)技术的商业化, 其被认为将给超高性能混凝土的使用带来革命性变革。

目前, 全球水泥与混凝土的市场规模在4 500亿美元/a上下, 人均混凝土占有量约1 t/a, 如使用低成本碳纳米材料, 全球可以减少15% ~ 30%的水泥和FRC耗用量。以美国为例, 其基建市场的混凝土年需求量约为7亿t, 大约涉及8.9万km的道路和桥梁维修建设; 而根据中国建筑行业协会的统计, 我国2015年商用混凝土的用量达18.12亿m³。从中可以看出, 高性能(HPC)或超高性能(UHPC)混凝土与水泥制品市场需求巨大, 反馈到化学纤维领域, 这是一个非常值得关注的应用领域。尤其是近年来, 随着人类生存环境的恶化和利用可再生资源意识的增强, 绿色理念已深入企业的经营活动中, 如BASF(巴斯夫)公司提出的绿色聚烯烃纤维混凝土, 即追求成本、性能和环境效益的最佳组合; 美国Michigan(密歇根)大学开发的绿色工程水泥复合材料(ECC), 其原料可取之于工业废弃物。相较于传统材料, 目前绿

作者简介: 芦长椿, 男, 1941年生, 高级工程师。

作者单位: 全国化纤新技术开发推广中心。

色建筑材料耗用的能源要低30% ~ 50%，碳排放量要低35%，用水量低40%，而固体废物的排放量下降要低于70%。无疑，生态环保是土木工程用化学纤维技术进步的基本诉求之一。

2 土木工程用合成纤维技术的新进展

2.1 聚烯烃纤维在FRC中的应用

作为重要的土木工程用化纤品种，聚丙烯（PP）纤维自进入增强混凝土市场以来，其市场不断取得新的进展。目前，广泛用于FRC的聚烯烃纤维主要是单丝、短纤维和原纤化纤维纱。纤维组分的含量一般为0.10%、0.15%或0.50%（按体积计），随着添加量的增加，复合材料的抗拉强度和抗压强度有所强化。

高性能混凝土要求其容积稳定性好，有高强度、耐用性、耐磨性、耐化学性以及低磨损率和良好的加工性能。和普通混凝土相比，HPC制品的承载强度、应变能力更佳。随着HPC和UHPC制品市场需求的扩大，混凝土增强纤维的杂化技术和增强相纤维黏合性能的改进为业内普遍关注。

2.1.1 聚烯烃纤维杂化系统在FRC中的应用

纤维增强混凝土是基于结构成分而显现其技术特征的复合材料，大量的研究实践显示，两种或多种添加纤维之间的作用，可以产生最佳的协同效应。钢纤维具有高强度和良好的刚性，可以改善FRC强度；PP纤维可提升FRC的韧性和应变能力，减缓混凝土早期裂缝的产生；玄武岩纤维具有较高的抗氧化性、抗辐射性和良好的耐磨性，有助于提高FRC的抗弯强度。有研究者选择钢纤维、聚烯烃纤维和玄武岩纤维组成三组分杂化系统，于烟灰水泥中使用，提高了复合材料的抗压、抗弯强度，且明显改善了混凝土的韧性，龄期后混凝土的应变能力和承载能力亦得到有效提升。还有研究人员选择使用直径为0.5 mm、切断长度为25 mm、长径比为50的钢纤维和切断长度为12 mm、抗拉强度为500 ~ 750 MPa的原纤化PP纤维进行杂化配置。杂化纤维的体积含量在0.25% ~ 1.5%之间，实验结果显示，使用杂化系统的FRC的抗拉

强度、抗弯强度、抗压强度以及抗冲击性能均得以显著改善，如表1所示。

2.1.2 聚丙烯纤维在海况混凝土施工中的应用

人们通过施以氧化剂的方法处理恶劣环境中滋生的污染物，如生物污染物的清理以保障道路的安全，特别是海洋环境下的混凝土台阶或人行道上海藻类植物的处置，始终是一个研究课题，其影响着混凝土构筑物的耐用性，关系着非正常损耗带来的维修和更新成本。

有研究者选择使用圆形截面、单丝直径为18 μm的微细且PP纤维作FRC的增强相，纤维通过质量分数为2.5%的次氯酸钠（NaClO）处理，表面和形态结构发生了明显变化，如图1所示。改性后PP纤维具有抑制生物污染物的功能，用于混凝土增强仍具有改善FRC制品裂纹的特性。经过NaClO改性的PP微细纤维增强混凝土材料，可以赋予海况条件下土木工程设施抵御生物污染物的功能，同时亦可用于泳池、水处理设备、储罐和大型管道的施工。

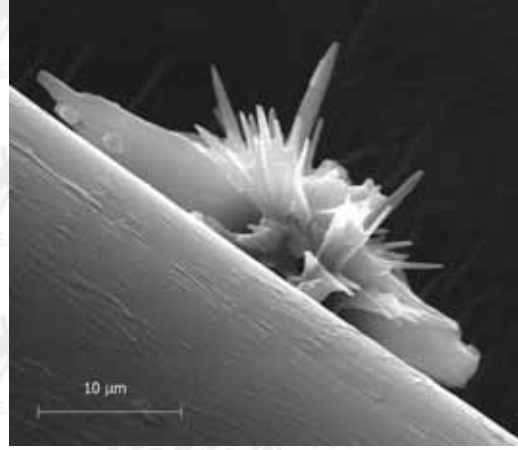


图1 NaClO改性处理后的微细且PP纤维表面

2.1.3 FRC施工中的聚烯烃纤维新品种

(1) 聚烯烃双组分纤维的应用

瑞士EMPA实验室开发的双组分聚烯烃纤维，用作纤维增强混凝土的增强相，聚烯烃纤维与水泥间的黏合性得以改善，FRC的模量和抗拉强度也得到明显提升，

表2 FRC用双组分聚烯烃纤维的技术特征

组分	单丝结构	单丝直径/ μm	抗拉强度/ MPa	弹性模量/ GPa
聚烯烃纤维	切断长度 50 mm	500	550	6.0
双组分聚烯烃纤维	皮层PP，芯层PP+纳米添加剂，组分比70/30，切断长度50 mm	500	625	10.4
	皮层PP，芯层PP，组分比70/30，切断长度50 mm	500	598	8.4

表1 钢纤维/PP原纤化纤维杂化混凝土特性

杂化纤维系统/%		抗拉强度/ (N · mm ⁻²)	抗弯强度/ (N · mm ⁻²)	抗压强度/ (N · mm ⁻²)
钢纤维	PP			
0	0	2.71	3.90	29.56
0.25	0.25	2.46	4.25	32.70
0.50	0.50	3.39	4.68	37.62
0.75	0.75	3.96	5.20	39.55

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

经编结构材料在土工和建筑领域的应用与发展

文 | 蒋高明 高 哲 周濛濛

摘要: 文章基于经编技术与装备的最新进展,介绍了经编特有织物结构,包括经编轴向结构、经编3D间隔结构和立体成形结构的特征,结合经编结构材料在土工(铁路路基、水利设施、城市道路)和建筑领域(桥梁、智能建筑)的最新应用,强调了经编结构在上述领域中所体现出的轻质高强、高稳定性、高耐久性与低能耗等性能优势,同时对相关材料的未来应用与发展做出展望。

关键词: 经编结构材料;土工;建筑;轴向结构;3D间隔结构

中图分类号: TS184.3

文献标志码: A

Application and Development of Warp-knitted Materials in Civil Engineering and Building Fields

Abstract: Based on the latest progress of warp-knitted technology and equipment, the paper introduced the characteristics of the typical warp-knitted fabric structures, including warp-knitted axial structure, three-dimensional spacer structure and three-dimensional fashioning. Combined with the latest applications of warp-knitted materials in geotechnical field, i.e., railroad bed, water conservancy facilities, urban road, as well as its application in building field, such as bridge, infrastructure, intelligent building, the paper emphasized its performance advantages, including light weight, high strength, high stability, high durability and low energy consumption, and looked forward to the application and development direction of warp-knitted materials.

Key words: warp-knitted material; civil engineering; building; axial structure; 3D spacer structure

随着针织技术的发展,人们对针织材料的结构类型和应用方向进行了研究与挖掘,在此过程中,针织材料也逐渐被应用于工程建设领域中,为提升工程质量与效率、延长工程设施的使用寿命提供了有力的材料支撑。作为针织材料的重要组成部分,经编结构材料以结构丰富、形态多样、可设计性强、成形性好、适型性好、原料适用范围广、轻质、高强、耐疲劳以及生产效率高等诸多优点,逐渐代替传统材料成为土工和建筑领域开发和应用的热点材料。

从20世纪80年代末开始,我国逐渐对经编土工材料的结构性能与应用进行探索。邱冠雄对经编土工材料的

结构、性能与测试进行了较为全面的梳理,并总结出不同类型、不同工况下经编土工材料的测试标准;蒋高明等对经编双轴向土工布的生产工艺、织造设备进行了详细阐述,并将经编双轴向复合土工布的水力性能、力学性能与同类机织产品做了系统对比,为相关材料在我国早期研究与应用奠定了基础。另一方面,经编结构材料在建筑领域的研究与应用,自21世纪开始在我国得到快速发展。丛洪莲等分析了建筑领域用经编复合材料的主要结构以及混凝土基经编复合材料和经编棚盖材料的制备与使用特性;蒋高明等系统阐述了用于建筑工程领域的经编材料结构与性能,并引用大量应用实例证明了该类材料在提升建筑强度与耐久性等方面的显著优势;严璞等从经编织物设计角度探讨3D经编织物和轴向织物以及经编涂层膜结构在建筑与土木工程领域的应用。

本文将基于新技术和新成果,从织造装备和特有结构等角度,结合应用实例对经编结构材料在土工和建筑领域的开发和应用做较为全面的阐述,并对未来发展做

作者简介: 蒋高明,男,1962年生,教授,博士生导师,主要从事针织新型结构与性能研究、产业用针织材料的开发应用与纤维增强复合材料研究。

作者单位: 江南大学教育部针织技术工程研究中心。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金—重点项目(JUSRP11807);省部共建开放课题项目(M2-201805)。

出预测。

1 装备技术

自进入21世纪,我国经编装备技术得到了快速发展,特别是随着伺服驱动技术、集成控制技术以及CAD技术等经编装备上的应用,使得经编装备在科技含量上有显著提升。而用于织造经编结构土工材料与建筑材料增强体的经编装备技术也有了长足的进步。如江苏润源控股集团有限公司研发出国内首台碳纤维多轴向经编机,打破了国外的技术封锁与产品垄断;常州宏发纵横新材料科技股份有限公司研制出国内首台高速玻璃纤维多轴向经编机,填补了国内相关设备的空白。这些技术突破为更加广泛地推广经编轴向土工与建筑材料提供了必要条件。江南大学对双针床超大隔距经编间隔织物生产设备的成圈机构、送经机构和牵拉机构,特别是对间隔梳的摆动动程等进行研究,为大厚度经编间隔结构建筑板材的制备奠定了基础。此外,江南大学自主研发的经编针织物CAD设计系统已成为全球市场占有率最高的一款经编工艺设计软件之一,为新型经编结构的设计与仿真提供了有力工具。

与此同时,国外知名的经编装备生产厂家也通过技术升级实现可用于土工和建筑领域的新型结构的研发。如德国Karl Mayer(卡尔迈耶)公司创新性地将钢丝花梳技术和电子提花原理应用于多轴向针织机,配合碳纤维条带喂入模块,通过横移运动生产出定向增强的结构,可实现个性化取向结构的设计和和生产。此外,卡尔迈耶产业用纺织品机械有限公司研发出了UN 700型碳纤维展纤设备,可以在独立展纤区域对12、24、50 K的碳纤维丝束进行离线展平加工,单位面积上的碳纤维重量可达到70~400 g/m²之间,条带宽度为800 mm,为超薄、多层碳纤维增强结构的生产提供了优良装备,也对进一步降低建筑构件厚度、生产成本等起到了积极作用。

未来,经编装备将沿着以下方向发展。

(1) 高速化与精密化。随着对成圈件传动曲轴连杆机构的优化、动平衡设计水平的提高以及轻质高强碳纤维增强材料在成圈机件上的应用,包括多轴向经编机、全幅衬纬经编机和拉舍尔双针床经编机在内的经编织造设备的机速和运转精度得到了大幅提升。

(2) 数字化与智能化。目前,信息技术、自动化控制技术与高水平制造技术已经被成功应用于经编装备的电子送经、电子横移、电子铺纬和电子牵拉卷取系统

中,并且研发出高动态响应的经编机集成控制系统,实现数字化水平的提升;同时,基于机器学习的织物疵点检测以及基于在线实时数据采集技术的产品质量智能监控与经编生产网络化管理系统也逐渐成为经编装备的重要配置,为经编生产的智能化管理起到了显著的促进作用。

2 主要结构

经编所特有的轴向结构、3D间隔结构和立体成形结构为当今土工与建筑工程提供了优良的结构材料,它们的应用对相关材料的制备方式、施工方法以及综合性能等诸多方面带来深远的积极影响。

2.1 轴向结构

用于土工和建筑领域的经编轴向结构(图1)也叫取向结构,可按照衬纱方向分为单轴向、双轴向和多轴向结构。经编轴向结构是典型的无屈曲结构,由轴向纱和捆绑纱等多个纱线系统组成,其特点在于,纱层轴向对称,取向性强,机械性能好;织物结构较为疏松,易与砂石、混凝土等建筑基材进行渗透与结合,形成轻质高强的复合结构材料;生产效率高,并且适用于多种原料的织造,对于提高工程效率、节约工程成本有显著作用。经编轴向结构多用作路基或堤坝加筋的土工格栅、建筑桥梁等关键构件的增强体以及局部补强等,是提升结构强度、降低建筑自重,节约混凝土等常规建材用量,降低建筑与工程排放的优良结构。

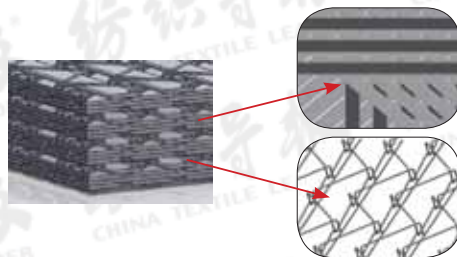


图1 经编轴向结构

2.2 3D间隔结构

经编3D间隔结构(图2)是典型的经编三维成形预制结构,由面纱和间隔纱两个纱线体系组成,其特点在于:厚度、密度和组织结构变化多样,是理想的轻质、超厚土工与建筑材料增强体;同时,间隔层中有序排布的间隔纱为声波的反射和折射提供了天然的优良条件,是制备隔音建筑板材的理想结构;此外,间隔层作为芯层,其内部空气相对静止,降低了内外层热量传导作用,因此,将其作为建筑外墙材料可提供良好的保温性能,使建筑能耗大幅降低。在一些智能建筑上,还可利

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

环境土壤修复用土工合成材料的研究及应用

文 | 周真佳 金良平 柯勤飞 靳向煜

摘要: 文章论述了国内外新型土壤修复、污染底泥修复、植被修复技术的应用现状,重点探讨土工合成材料在环境土壤修复中的应用,介绍了环境土壤修复专用土工合成材料的性能要求及发展趋势,指出我国需积极进行环境土壤修复用土工合成材料的多学科交叉协助开发及应用,并提出重点研究应用方向及相关政策措施建议,以期更好地推进我国环境土壤修复专用土工合成材料的研究及应用。

关键词: 土壤修复;底泥污染;植被修复;土工合成材料;功能性

中图分类号: X53 **文献标志码:** A

Research on the Application of Geosynthetics for Environmental Soil Remediation

Abstract: This paper discusses the application status of soil remediations, contaminated-sediment restorations and vegetation restoration technologies at home and abroad, focuses on the application of geosynthetics in environmental soil remediation, and introduces the performance requirements and development trends of geosynthetics for environmental soil remediation. It is pointed out that China needs to actively carry out multi-disciplinary cross-assisted development and application of geosynthetics for environmental soil remediation, and propose key research directions and relevant policy measures to improve the research and application of geosynthetics in the environmental soil remediations in China.

Key words: soil remediation; sediment pollution; vegetation restoration; geosynthetics; functionality

当前,中国现有耕地近 1/5 (约2 000万公顷) 受到重金属污染,土壤污染被称作“看不见的污染”,90% 的污染最终都会回归土壤。环境专家指出,当污染超过土壤的自净能力时,甚至会出现 3 种环境报复风险:一是生态关系失衡,引发生态环境恶化;二是土壤质量下降,造成农作物减产降质;三是污染粮食与蔬菜,影响人类生存。因此,要想实现经济和环境的可持续发展、人与自然的和谐相处,就要对目前被破坏的生态环境积极进行修复。为此,对土壤、植被、水体中污染底泥进行修复和治理已刻不容缓。

1 土工合成材料在土壤修复中的应用

1.1 土壤修复技术

作者简介: 周真佳,女,1994年生,硕士在读,主要从事土工合成材料的研究及应用、新型非织造工艺技术及产品方面的研究。

通信作者: 靳向煜,教授, E-mail: jinxy@dhu.edu.cn。

作者单位: 周真佳、柯勤飞、靳向煜,东华大学纺织学院;金良平,上海纺织建筑设计研究院。

土壤修复技术是指利用物理、化学、生物等方法转移、吸收、降解和转化土壤中的污染物,使其浓度风险降低到可接受水平的技术措施。一般根据各治理工程的环境与要求,如《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3 — 2014)、《污染场地土壤修复技术导则》(HJ25.4 — 2014)等,将有毒有害的污染物转化为无害的物质,使遭受污染的土壤恢复正常功能。

1.2 土壤修复用土工布

新型土工合成材料因防渗性好、强度高、强度高等优异的性能和结构设计,被广泛应用于环境土壤修复领域。耐酸碱型复合防渗膜、防渗土工垫等可用作矿山土地治理中有害污水的防渗、防漏等。另外,非织造型土工布具有三维纤维结构,过滤效果优良,与织造型结构材料组合形成的多层土工布具有优良的过滤和脱水性能,可用作河道、矿山土地治理的过滤包覆材料。土壤治理用土工合成材料通过结构与功能材料相结合,可在两层非织造布之间添加功能性吸附物质,形成优异的过滤和吸

附性能。在化学土壤修复工程中，土工布与加药系统联用，保证了脱水过程中化学添加剂与污染土的稳定性，提高了土工布的脱水效率和泥土的固结性能。在实际工程中，需根据土工布在使用过程中接触的化学添加剂的成分，合理地选择土工布的材质和工艺技术。

此外，随着社会的发展，土壤治理用土工合成材料的智能化发展也越来越普遍。针对不同的环境和施工条件，设计温度传感土工布，根据土壤环境的热量传递，随时预测工程中环境温度的变化、微生物含量的变化等；安装气体成分分析检测装置的土工合成材料，可根据气体的物化性质及时远程监测气体的生成和变化；安装pH值测试仪的土壤底泥化学处理工程中的土工布（袋）系统，可精确监测施工过程中土壤的酸碱度变化来预测土质的变化情况。

1.3 土壤修复土工膜

工业用地、汽车加油站、废弃库房、废弃的可能含有铅或石棉的居住场所、包含化工废渣的“棕色地块”和城市垃圾中存在的有毒有害物质等必须科学合理地综合治理，防止污染土壤和水体。而废弃污染物的坑埋都必须使用防渗复合土工膜作衬垫层。防渗复合土工膜的作用就是防止水分渗入到废弃物中产生渗滤液，然后携带废弃物中的污染物质穿透底部的衬垫层，渗透到周围的土壤与地下水中，造成土壤和水体环境的再次污染。

复合土工膜是由土工膜与土工织物经导辊热轧形成的，具有防渗效果好、强度高、耐老化、重量轻等优点。按照复合形式，可以分为一布一膜、两布一膜、两膜一布等。在实际工程中，以两布一膜复合土工膜应用居多，其上下层的织物用以保护中间层防渗土工膜免受碎石尖角刺破等危害。两布一膜较其他复合土工膜具有更大的抗拉强度及更好的防渗性能，因此适用于土壤修复工程中的防渗系统，目前已成功应用于上海某土壤修复工程。图1即为其防渗系统设计图，其中防渗层两布一膜采用的是“克重200 g/m²的聚丙烯纺粘针刺土工布+厚

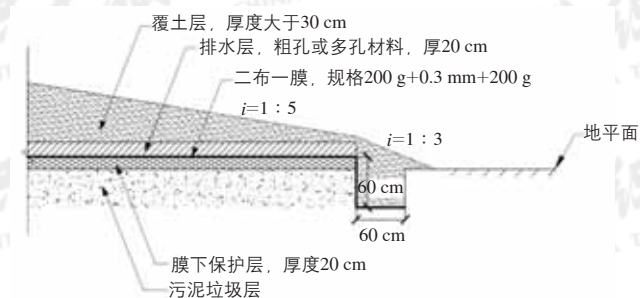


图1 上海某污染场地土壤修复工程专用防渗复合土工膜设计图

度0.3 mm的高密度聚乙烯（HDPE）薄膜+克重200 g/m²的聚丙烯纺粘针刺土工布”的结构。另外，排水层为20 cm厚的聚氯乙烯（PVC）土工排水多孔板。土工膜底部保护层厚度为20 cm，采用细沙颗粒层保证土工膜不被刺破及压强均匀。土壤修复专用的复合防渗土工布的设计具有良好的抗拉伸、抗撕裂、抗顶破等力学性能，其复合产品具有耐酸碱、抗腐蚀、耐老化、防渗性好等特点。

1.4 土壤修复封顶系统应用

土壤修复工程进行污染物处理时，为了防止污染物挖掘对周围土壤与地表水造成二次污染，同时控制有毒气体及粉尘逸散到空中，必须在污染物土壤施工场地地进行封顶处理。封顶系统必须具备隔离气体、防水防渗及分离处理的功能。与传统的混凝土梁柱和盖板系统相比，土工膜浮动罩结构简单，投资少，易于大面积安装，优点较为突出。同时，土工合成材料具有优异的导流作用，可避免降雨渗进填埋场而诱发填埋体失稳和加剧污染物的扩散。土工膜的密封性能可完整收集甲烷类有害气体，避免填埋场气体无组织释放，同时能切断有害物质的传播媒介，防止其对填埋场附近的居民生活产生影响。

废弃物填埋用封顶土工合成材料是由基布、粘层、涂层、表面处理层经设计加工而成，通常选用聚丙烯、聚酯、聚乙烯、芳纶等作为基布，通过结构复合设计和化学处理技术，赋予复合材料化学物质吸附或催化功能。经过涂层整理和表面处理，可获得气密性好、耐老化、抗硫化腐蚀、抗甲烷气体渗透、耐折叠、防霉抗菌的土工复合材料。图2所示为封顶系统用土工合成材料的结构示意图。

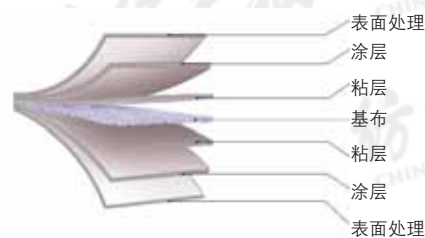


图2 土壤修复封顶系统用土工合成材料的结构



图3 浙江某农药厂污染土壤修复工程封顶复封系统

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

智能土工合成材料的应用新进展

Latest Developments of Smart Geosynthetics

文 | 张 娜 赵永霞

土工合成材料是各类土木工程建设中的关键材料，国外对其开发和应用已有较长历史。早在20世纪50年代，美国就开始将其用于公路路面的加固及防渗；70年代以后，土工合成材料进入快速发展期，陆续拓展至铁路、河堤、海岸等的防护工程。随着科技的进步和社会的发展，其应用领域也不断拓展，并开始借助智能集成技术及装备向功能化和智能化方向发展，在各类土木工程的监测和维护中发挥重要作用。

1 集成传感器土工合成材料

土工合成材料被广泛应用于堤坝护坡、河底护砌、公路路基防护、污水处理厂及垃圾填埋场的防渗工程，利用传感器嵌入纤维材料，通过特定工艺，实现传感器与普通土工合成材料结合，使土工合成材料具有监测功能，可实现对土壤增强结构进行监测和内部侵蚀预警。

1.1 防渗膜永久监控系统

高密度聚乙烯（HDPE）膜是最常用的土工合成材料之一，已作为污染隔绝屏障广泛应用于各种类型的填埋场及污水储存池中。但在工程应用过程中，防渗设施存在不同程度的防渗层破损现象，造成填埋场人工防渗层失效，因此建立完整的防渗膜永久性监控系统，进行固废填埋场和废液池监控，及时报警并明确渗漏点，对于保障垃圾填埋设施的安全、保护环境有着重要的意义。

欧洲最早开始研发集成了感应器和电信号发射装置的防渗膜监控模块，已应用于多个国家钢铁厂、火力发电厂和金属处理厂的场地渗透监控。但该系统受防渗膜下部介质导电性的影响，其监控模块的监控范围和渗漏部位的定位精度受到影响。

2015年，来自中国、美国、德国、奥地利等国家等多家科研机构和公司共同完成了防渗膜永久监控系统的研发，并在我国实现了首次现场验证。该系统由监控感应模块、电缆和中央处理器组成，如图1所示。将监控模块与导电HDPE防渗膜结合，当HDPE膜出现渗漏时，

感应模块发射端和接收端将通过膜下导电涂层、漏洞和膜上渗滤液层形成回路，监控模块上部的传感器接收到的电脉冲信号会随着其下部发射端发出的不同强度电信号而改变，从而确定防渗膜是否发生渗漏（图2），并根据多组传感器接受到的电脉冲信号的集成，确定渗漏发生的位置。2018年，我国首套永久渗漏监控系统于贵州省福泉市磷石膏堆场顺利通过工程验收，此系统可以对直径1 cm的小孔渗漏发出实时警报（图3）。



图1 集成感应器和电源的渗漏监控模块

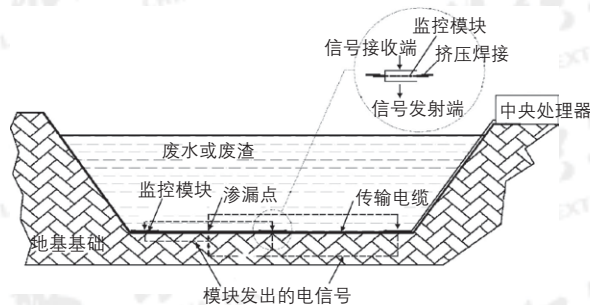


图2 永久性防渗膜渗漏监控集成系统的工作原理



图片来源：上海胜义。

图3 永久渗漏监控系统验收现场

1.2 光纤传感器集成土工合成材料

光纤布拉格光栅（FBG）及基于布里渊光时域反射

作者单位：中国纺织信息中心。

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

布鲁克纳：为非织造土工布热定形提供领先的解决方案

Brückner: Supply Innovative Solution for Nonwoven Geotextiles Heat-setting

非织造土工布是土工合成材料中的一类，具隔离、过滤、排水、防护、加筋、防腐蝕等性能，常用于道路交通、水利设施、垃圾填埋场、建筑物等基础设施建设工程。随着全球变暖、强降雨等极端天气的出现，非织造土工布在保护土壤、植被修复方面将变得越来越重要。在热带和亚热带地区，降雨充沛，因此必须使用土工合成材料来防止雨水冲刷、侵蚀给土壤和植被带来的伤害。非织造土工布可以克服土壤层、岩石层等结构强度存在缺陷、水压作用下容易变形等问题，未来具有巨大的应用潜力。

非织造土工布包括纺粘长丝非织造布、短纤维针刺非织造布等，最常用的聚合物原料是聚丙烯（PP）和聚酯（PET）。为了以尽可能少的纤维使用量来达到相关测试标准所要求的产品性能，通常采用热定形技术来提升针刺土工布的强度并使其更蓬松柔软。

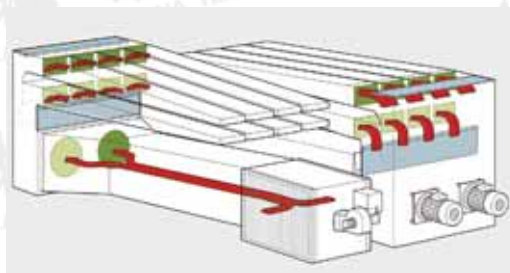
通常情况下，需要使用特殊的拉幅定形机对非织造土工布进行处理，要求其具有以下特征：工作幅宽最大可达 7 m；高温下依旧可以呈现良好的纤网均匀性；气流作用下，纤网的均匀度高；拉伸力高并且可被精确检测；卷材的行进方向和产品的收缩率可控，再现性好；维护成本低。

作为世界领先的纺织和非织造布机械制造商之一，Brückner（布鲁克纳）公司数十年来一直以高性能的拉幅定形机和相关配套技术为市场提供支持。



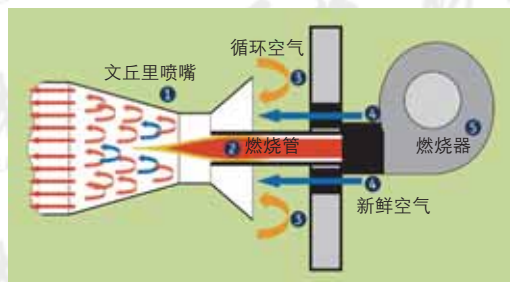
布鲁克纳公司的非织造布拉幅定形机

为了满足产品均匀输入的最高要求，布鲁克纳的所有拉幅定形机都设计为加热器和轴流风机以 1.5 m 的距离间隔分布在卷材运行的方向上。



沿运行方向间隔排列的加热器和轴流风机

拉幅定形机还采用了布鲁克纳公司的专利 Venturi（文丘里）混气技术，将燃烧产生的热空气与环流空气混合，达到最佳的温度分布均匀性，这是布鲁克纳公司拉幅定形机技术在非织造土工布生产中取得成功的另一个关键要素。



专利文丘里混气技术

这些非织造布的超宽拉幅定形机对精度和生产条件要求很高，为此，布鲁克纳公司于2018年在德国巴伐利亚州蒂特蒙宁设立了新的生产工厂。正如其客户对“德国制造”机械所期望的那样，该工厂生产的所有设备都能满足最高的产品质量标准要求。GIL



布鲁克纳公司在德国巴伐利亚州蒂特蒙宁设立的新生产工厂
(本文由布鲁克纳公司供稿，王佳月译)



杨广庆
石家庄铁道大学教授
中国土工合成材料工程协会秘书长
中国土工合成材料工程协会加筋专委会主任委员

二级教授，主持国家级、省级及各类横向科研项目80多项，研究成果曾获省部级科技进步一等奖2项、二等奖5项、三等奖10项，发表论文150篇，SCI、EI检索收录60余篇，出版专著10部，授权发明专利12项、实用新型专利16项，计算机软件著作权8项，主（参）编标准规范12部。先后荣获国家百千万人才工程人选、国家有突出贡献的中青年专家、国务院政府特殊津贴专家、河北省省管优秀专家、河北省杰出专业技术人才、河北省有突出贡献的中青年专家、山东省泰山产业领军人才、河北省高等学校创新团队领军人才、茅以升土力学与岩土工程青年奖及詹天佑铁道科学技术青年奖。现为中国土木工程学会土力学及岩土工程分会理事、中国岩石力学与工程学会环境岩土工程分会理事、河北省交通运输厅厅长决策咨询委员会委员、河北省高速公路建设专家咨询委员会委员。

“产业链上下游共同发力，完善产品标准，规范市场行为，推动土工合成材料行业向高质量发展”

土工合成材料是继砖石、木材、钢材、水泥之后的第5种建筑材料，在我国的各项基础设施建设中发挥着越来越重要的作用。请您谈谈目前我国土工合成材料产业的发展及应用现状，您认为这一领域的未来发展情况如何？

我国土工合成材料的发展起步较晚，主要分为3个阶段：自应用时期（20世纪80年代前）、技术引进与自主研发时期（20世纪80年代—1998年）和标准化建设与产品研发时期（1998年—至今）。1965年，我国首次采用土工合成材料（沥青—塑料薄膜）处理辽宁桓仁水电站混凝土坝裂缝，同年河北省子牙新河献县枢纽工程采用黏土夹塑料薄膜用于进洪闸上游铺盖防渗结构。1981—1998年期间，先后从国外引进纺粘土织物、塑料排水带、土工模袋、土工格栅、土工

网、HDPE膜（片）等产品，并先后实现国产化。1998年，长江发生特大洪水，抗洪抢险救灾成为当时全民参与的攻坚战。土工合成材料在抗洪抢险过程中发挥了重要作用，同时也得到了国家政府相关部门的重视，有关土工合成材料的产品标准、产品试验标准、工程应用技术规范等相继颁布实施，对土工合成材料的开发与推广应用起到了积极的推动作用。

至此，我国土工合成材料进入快速发展阶段，生产企业的规模和数量迅速扩大。据统计，2002年，全国土工合成材料生产企业不到400家，2012年已经发展到800多家，目前已超过1100家，其中规模以上企业在300家以上，遍布全国各个省份。产业集群的分布整体呈现出“集中+零散”的特点。例如在山东省的济南、德州、泰安等地区，江苏省的宜兴、仪征、常州等地区形成了一定规模的土工合成材料产

业集群。其他地区的土工合成材料生产企业则零星分布在全国各地。从产值来看，据初步统计，目前我国土工合成材料的规模在500亿元以上，产品类型丰富，基本涉及各个类别。从应用领域来看，土工合成材料功能性较强，应用范围不断扩展，已广泛应用在公路、水利、铁路、市政、航空、港行、水运、环保、军事等各个领域。确切地说，一切与土工相关的工程都可以用土工合成材料来解决实际问题。

从产业链整体来看，土工合成材料产业是一项极其复杂的跨领域研究学科，其最终目的是能够为用户单位提供实际有效的工程解决方案，但目前国内能够达到这种水平的土工合成材料生产企业数量不多。土工合成材料产业链较长，主要涵盖原材料生产企业、土工合成材料设备制造企业、产品生产企业、测试设备制造企业、产品测试企业、设计单位、施工单位、科技

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》



陆忠民
中国长江三峡集团控股上海勘测设计研究院有限公司副总经理兼总工程师
中国土工合成材料工程协会理事长
中国海洋工程咨询协会理事

教授级高级工程师，获国务院政府特殊津贴。主持设计了世界最大的避咸蓄淡水库——青草沙水库、中国第一个海上风电场——东海大桥海上风电场，以及上海、江苏、浙江、安徽等地太湖流域综合整治、长江口综合整治、抽水蓄能电站、海上风电场、潮流发电站、城市水利、滩涂围垦等工程。承担了国家863计划、国家海洋可再生能源专项、上海市科技创新计划等科研项目10多项。主编了《水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范》《混凝土拱坝设计规范》等国家、行业技术标准，参编了国家规划图书《水工设计手册（第2版）》《风力发电工程技术丛书》和《土工合成材料防渗排水防护设计施工指南》等，获国家、省部级科技进步、勘察设计等奖项30多项。

“充分发挥设计单位的核心枢纽作用，促进产业链上下游互融互通，提升土工合成材料在水利工程中的应用水平”

土工合成材料的应用范围非常广泛，请您结合自身专业，谈谈土工合成材料在水利、风电技术设计中的应用现状。

土工合成材料具有反滤、防渗、过滤、隔离、防护、加筋等各种功能，在水利和风电工程中应用非常广泛，主要应用的材料类型有土工膜、机织土工布、非织造土工布、土工管袋以及复合土工合成材料等。以下就典型的应用案例说明土工合成材料在水利领域的应用情况。

（1）堤坝挡水

机织土工布强度较高且能排水保土。与传统的混凝土、钢板等建筑材料相比，在机织土工袋中填充疏浚材料或者泥浆等制成的土工模袋，具有降低工作量、缩短施工周期、节省工程成本等优点，因此在堤坝中被广泛采用。例如，青草沙水源地的水库工程是上海长江水源

地中规模最大、建设条件最复杂的水库。由于水库的堤坝全部建在水中，若采用以传统堤坝做围堰的方式工程工作量大、费用高。结合土工布的优势，在堤坝建设过程中，设计人员采用了插打塑料排水带处理地基、水中抛填大沙袋结合大尺寸高强土工布水力填充斜坡式堤坝的结构，充分解决了水中建坝的难题，施工中既可就地取材（沙子），又不会受到下雨等恶劣天气的影响。

（2）滩涂围垦

滩涂围垦是一种行之有效的扩大土地面积的手段，经过多年发展，围垦技术已经取得了突破性进展，深水处打设塑料排水带、铺设土工布等成为近年来围垦技术中的新型工程技术，土工合成材料在其中发挥了重要作用。软体排（一般分为砂肋软体排和混凝土连锁块软体排两种）是在滩涂围垦过程中防止海底或者河底被水冲刷的重要工程材料，主要是在土工布上方排布

一层砂肋或者混凝土块，既能起到防冲刷作用，又能保证土工布不会被海浪轻易掀起。软体排的制作简单，可利用排体的自重沉放，工艺简单经济，施工方便。

（3）海上风力风电

风力发电是一项重要的新能源技术，目前主要集中在海上风力发电。虽然土工合成材料在该领域的用量远低于水利工程用量，但却是海上风力发电技术中必不可少的部分。海上风力发电机组的安装需要在海底打桩，但由于海水的流动性大，桩基部位的沙土容易被海水冲刷，造成基础不稳。为保护桩基周围的沙土，采用土工软体排对其进行加固保护，原理与滩涂围垦中的应用类似。此类工程案例在上海、福建等沿海地区有很多，例如，东海大桥海上风电场、福建兴化湾海上风电场等。

（4）蓄能式水电站

蓄能式水电站是在高低地势两

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》



周诗广
中国土工合成材料工程协会副理事长
中国铁道学会标准与认证部主任

工学博士、正高级工程师，主持制定了我国高速、城际、市域三大客运专线铁路设计规范，负责铁道行业团体标准研制工作。同时，担任西南交通大学兼职教授，《铁道学报》《铁道标准设计》等期刊编委及国际标准化组织ISO/TC269专家，入选中国铁路总公司“百千万”人才工程专业带头人，先后获得茅以升铁道工程师奖、詹天佑铁道科学技术奖（贡献奖）、中国侨界贡献奖（创新人才奖）。

“加强标准体系建设，以高质量产品助力土工合成材料在铁路工程中的应用”

标准的制定和实施对于提高产品质量、确保工程安全具有重要意义，请您谈谈我国用于规范土工合成材料的标准都有哪些。您认为这些标准对土工合成材料行业的发展发挥了怎样的作用？行业在标准认证体系管理方面还有哪些地方需要完善？

我国土工合成材料行业虽然起步较晚，但已经初步形成了较为完善的土工合成材料标准体系。按照标准管理属性划分，主要包括政府系列的国家标准、行业标准、地方标准和市场系列的团体标准、企业标准，例如国家标准GB/T 17689 — 2008《土工合成材料 塑料土工格栅》、交通运输部行业标准JTG E50 — 2006《公路工程土工合成材料试验规程》、国家铁路集团《铁路工程土工合成材料 土工格栅》系列标准等。按照标准服务类型划分，主要有产品

技术条件、试验方法和工程建设标准等，例如，GB/T 17639 — 2008《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》、GB/T 13761.1 — 2009《土工合成材料 规定压力下厚度的测定 第1部分：单层产品厚度的测定方法》、GB/T 50290 — 2014《土工合成材料应用技术规范》等。

标准的制定为土工合成材料的产品质量以及工程应用起到了极大的规范和引领作用，对行业的健康发展起到了积极的推动和指导作用。产品技术条件通过统一材料的命名和分类，规范材料的物理、力学和耐久性指标，界定相关技术指标的试验方法，为土工合成材料的应用提供了基础条件。土工合成材料试验规程通过规定材料的物理、力学、耐久性等相关指标的试验方法，为土工合成材料的工程应用提供正确的技术参数，同时也作为检验工程应用中材料是否满足设计要求的依据。工程建设标准为各类工

程结构的正确设计、规范施工工艺、统一质量检验提供指导，保证结构的安全稳定和耐久性。

目前，我国土工合成材料标准呈现出繁多复杂的特点，在行业应用领域的使用大多未得到有效规范。在标准的制定和认证方面，还是应该结合行业的应用特点和特色需求，制定一套完善且实用的行业技术标准。例如，铁路系统2019年已经启动了行业首批土工格室、土工格栅、土工布、土工膜等4种产品的中铁检验认证中心（CRCC）认证工作，这对规范土工合成材料产品质量、提升铁路工程实体质量具有巨大的推动作用。下阶段还将结合认证工作进一步完善产品认证实施细则，同时将继续推进其他5类土工合成材料产品的CRCC认证工作。与此同时，我国目前在推进国家治理体系和治理能力现代化改革，相关政府管理机构要注重发挥行业协会作为客观第三方的技术、专家和协

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》



詹良通
浙江大学建筑工程学院教授
浙江大学岩土工程研究所所长
中国土工合成材料工程协会副理事长
中国土木工程学会环境土工专业委员会副主任

国家自然科学基金杰出青年基金获得者、国家万人计划中青年科技创新领军人才。主要从事环境岩土工程的教学与科研工作，在城市固体废弃物填埋场滑坡灾害、渗滤液污染地下水、填埋气污染空气防控方面具有丰富经验，主持国家重点研发计划项目1项、国家973计划课题1项、国家自然科学基金6项及重大工程咨询项目5项，发表学术论文140余篇，其中SCI收录论文60余篇，获授权国家发明专利16项，获国家科技进步二等奖2项，省部级科技进步奖4项。兼任国际权威期刊《Geotextiles and Geomembranes》和《Canadian Geotechnical Journal》的编委、全国生活垃圾填埋设施无害化等级评定专家等。

“在国家大力发展绿色环保产业的大背景下，土工合成材料在环保领域将大有可为”

地下水土环境污染评估、控制及修复已成为我国环保领域的重大需求，而在岩土工程中利用土工合成材料成为最经济有效的解决方法之一，请您谈谈土工合成材料在环保行业的应用现状（包括具体的应用场所、所采用的土工合成材料的代表类型以及典型的应用案例等）。

环境保护是当今世界发展不容忽视的问题之一，各国都据此提出了很多具体的解决方案，从原料、产品到工程设计、实施方案，不一而足。其中，环保领域所用防护材料不仅要求具有优越的防污性能，而且要求具有良好的力学性能和耐化学腐蚀性能，能够将有毒有害物质与地下水土环境有效隔离，从这点来看，土工合成材料相对其他工程材料应用优势更加明显。

目前，在环保领域，土工合成

材料主要用于3个场所。

一是固体废物填埋场。固体废物类型众多，从来源看主要包括城市固体废弃物、工业废弃物以及危险废弃物。其中，城市固体废弃物，包括生活垃圾、市政污泥、建筑垃圾等，这些固体废物填埋后会产生有污染性的渗滤液和填埋气体；工业废弃物主要包括钢铁冶炼废渣、煤矸石、赤泥、尾矿等，这些工业固体废物填埋后会产生腐蚀性酸、碱、盐等化学物质；危险废弃物中含有大量重金属和挥发性的有机污染物。在这些有毒有害物质的卫生填埋过程中，需要具有防渗、阻隔功能的土工合成材料来防止其溢出或者扩散造成对地下环境的污染。

二是渗滤液储存池。在固体废弃物的填埋场，有些渗滤液被导出后不能及时被处理，所以需要建立储存池存储渗滤液。由于渗滤液渗漏会给周围环境或者水源等带来污染，故而储存池的防污性能至关重要，底部需要铺放具有良好防污功能的土工合成材料。

三是污染场地治理。污染场地主要包括一些搬迁遗留的工业或石化生产场地、非正规垃圾填埋场等。在这些污染场地的原位治理中，有一种常用的措施叫污染风险管控，即将有潜在污染的物质与周边环境隔开，或切断液气污染物迁移扩散的途径，例如利用具有防渗和阻隔功能的土工合成材料将潜在污染场地圈闭起来，防止污染物进一步扩散到周边环境。

针对以上场所的应用要求，相关的土工合成材料主要有三大类。一类是土工膜，也叫防渗膜，由于在环保领域土工膜接触到的渗滤液均具有腐蚀性，因此一般多采用耐化学腐蚀性好的高密度聚乙烯（HDPE）膜。土工膜的主要作用是控制渗流量并延缓污染物扩散。第二类是土工合成膨润土垫（GCL），其结构是两层土工布之间添加一层

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》



杨宝和
青岛旭域土工材料股份有限公司董事长
中国土工合成材料工程协会副理事长
国际土工合成材料工程学会中国委员会副主席

毕业于武汉大学环境科学系，2007年起任青岛旭域土工材料股份有限公司董事长。自20世纪90年代末开始从事土工合成材料的推广及应用研究，主持建设的“改性高抗冲聚苯乙烯格栅工程材料高技术产业化示范工程项目”被国家计划委员会授予“国家高技术产业化示范工程”，获得青岛市科技进步一等奖。在土工材料的应用研究中，获得国家发明专利6项、实用新型专利12项、计算机软件著作权1项，指导公司主编、参编国家标准、行业标准6个，取得科技成果18个；在国家二级以上学术期刊发表论文3篇。

“企业应主动自律，坚守行业底线，加强自主创新，以提升行业话语权，实现可持续发展”

土工格栅是土工合成材料中非常重要的一类产品，在增强土体稳定性、提高基础设施服役性方面具有重要作用。请您简单介绍一下土工格栅的种类及其在工程领域中的应用情况。

土工格栅是土工合成材料的一种，它是以塑料为原料加工形成的具有较大网孔的土体加筋材料。按照原料和生产工艺，土工格栅可分为拉伸塑料土工格栅、焊接钢塑土工格栅、经编玻纤土工格栅、经编聚酯土工格栅、焊接聚酯土工格栅和焊接纤塑土工格栅等。拉伸塑料土工格栅是以高密度聚乙烯（HDPE）或聚丙烯（PP）为主要原料，经塑化挤出、冲孔、整体拉伸而成的平面网状结构土工格栅。焊接钢塑土工格栅是以高强度钢丝包覆聚乙烯，经塑化挤出成复合型高强度条带，按平面经纬成直角，再经超声波焊接而成的平面网状结

构，其表面有粗糙压纹。焊接纤塑土工格栅是以玻璃纤维、玄武岩纤维、聚酯纤维等经特殊处理后与聚乙烯（PE）或聚丙烯及其他助剂为主要原料，通过挤出成为复合型高强度条带，按平面经纬成直角，再经超声波焊接而成的平面网状结构，其表面有粗糙压纹。焊接聚酯土工格栅是以聚酯（PET）为主要原料，加入抗老化剂和其他助剂后，经过低倍数机械拉伸成精制肋条，按平面经纬成直角，再经超声波焊接而成的平面网状结构。经编聚酯土工格栅是以高强度涤纶工业长丝为主要原料，采用经编工艺织造成网格坯布，再经聚氯乙烯（PVC）或丁苯胶乳涂覆加工而成的平面网状结构。经编玻纤土工格栅是以高强无碱玻璃纤维无捻粗纱为主要原料，采用经编工艺织造成网格坯布，再经涂覆加工而成的平面网状结构。目前，在工程中应用范围最广、应用量最大的是整体拉伸塑料

土工格栅。

土体具有一定的抗压强度和抗剪强度，但其抗拉强度却很低。在土体中掺入或铺设适量网状结构的土工格栅加筋材料后，可以扩散土体的应力、增加土体模量、传递拉应力、限制土体侧向变形，因此，土工格栅可以不同程度地改善土体的强度与变形特征。同时土工格栅还增加了土体和其他材料之间的摩擦阻力，提高了土体及有关结构物的稳定性。在填土中加入土工格栅抗拉材料，通过摩擦力将加筋材料的抗拉强度与土体的抗压强度结合起来，增强了土体的稳定性，使土体的整体强度得以提高。基于优越的主体加筋性能，土工格栅可以广泛应用在公路、铁路、水利、电力、建筑、海港、采矿、军工、环保等多个工程领域，作为加筋土地基、边坡、挡墙、桥台、河岸和路堤等的加固结构。

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》



崔占明
宏祥新材料股份有限公司董事长
中国产业用纺织品行业协会副会长兼纺织合成材料分会会长

中共党员，高级工程师，国家标准化委员会委员。荣获2016年度中国产业用纺织品行业协会“行业杰出贡献奖”，2018年度山东省改革开放40年行业突出贡献奖。拥有30多年的土工合成材料系列产品研发、生产、营销、服务等企业实践管理经验，具备资深的行业知识和专业技术背景，善于研究行业宏观经济发展，践行企业产品转型升级，为行业发展与提升做出重大贡献。

“积极贯彻落实国家方针政策，以产学研合作加速新产品开发，推动土工合成材料在‘海绵城市’建设中的应用”

2015年，国务院《关于加强城市基础设施建设的意见》和国务院办公厅《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》印发以来，各有关方面积极贯彻新型城镇化和水安全战略有关要求，有序推进海绵城市建设，请您介绍一下海绵城市建设的必要性及其将为土工合成材料发展带来的机遇。

在城市化进程快速发展的过程中，导致了“城中看海”“径流污染”“城市热岛”“水文循环破坏”等硬质工程的产生，海绵城市是我国新型城镇化建设的重要方向，是解决当前严峻城市环境问题的根本出路。国务院办公厅《关于推进海绵城市建设的指导意见》明确指出，通过海绵城市建设，最大限度地减少城市开发建设对生态环境的影响，将70%的降雨就地消纳和利用。到2020年，城市建成区20%

以上的面积达到目标要求；到2030年，城市建成区80%以上的面积达到目标要求。

海绵城市指的是城市能够像海绵一样，在适应环境变化以及应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”，下雨时吸水、蓄水、渗水、净水，需要时将蓄存的水释放并加以利用。其与传统城市的区别在于，海绵城市遵循的是顺应自然、人与自然和谐相处的低影响发展模式，能够保护原有水生态，建成后地表径流量保持不变。海绵城市建设的技术措施可归结为“渗、滞、蓄、净、用、排”六大要点。

土工合成材料作为低影响开发设施的重要组成部分，针对海绵城市建设中的“渗、滞”措施，能够起到下渗、反滤的功能，保证雨水有效渗入到土体中，尽量减少排入管道系统的雨量；针对海绵城市建设中的“蓄、净”措施，能够起到蓄水、净水的作用，尽量保证雨水

的有效留存，并与砂石共同作用，储存有效雨水；针对海绵城市建设中的“用、排”措施，能够保证排水通畅，有良好的水力条件和反滤条件，不易淤堵，达到雨水综合利用的目标。因此，随着我国海绵城市建设的不断推进，土工合成材料在其中的应用潜力巨大，未来具有非常广阔的市场。

在海绵城市建设中，宏祥新材料股份有限公司的产品种类齐全，请您从透水铺装、绿色屋顶、雨水收集、污水处理、生态水系建设等几大应用领域出发，谈谈贵司的产品在这些领域的应用类型、性能要求及其优势。

海绵城市建设需要透水铺装、雨水收集、净水处理、生态水系打造四大板块相辅相承，不可或缺。宏祥新材料股份有限公司（以下简

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

建筑用纺织品的发展现状及趋势

Status-quo and Development Trend of Building Textiles

文 | 刘凯琳 赵永霞

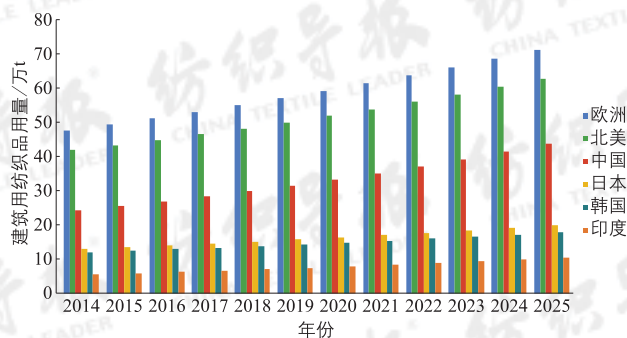
1 全球建筑用纺织品的市场概况

将新型纺织材料与建筑进行结合,可实现建筑结构的轻量化、功能化以及结构多元化,对于建筑行业的高质量发展具有重要意义。一般来说,建筑用纺织品是指在建筑领域中作为特殊建筑材料使用的纺织品,目前主要包括建筑用膜结构材料、建筑用防水材料、建筑用隔音隔热材料以及建筑用纤维增强材料,其中以建筑用膜结构材料的产业化应用最为广泛和成熟。从发展历程来看,建筑用纺织品在欧美日韩等发达国家和地区的发展已有近40年历史,并且得到了很好的应用实践,无论是设计开发理念还是新技术、新产品的研发应用,均处于世界领先水平。例如欧洲对建筑的绿色化、节能化以及老旧建筑的修缮、改造等非常重视,为此,其第七次框架计划(FP7)、“地平线2020”计划、欧盟智能能源(IEE)计划等战略性项目中均设立专项对与此相关的项目给予资金支持(表1)。未来随着人们对高品质生活需求的提高,新型建筑及与此相关的建筑材料包括建筑用纺织品将迎来新的发展机遇。

表1 欧洲绿色节能建筑及建筑改造部分项目

项目名称	子项目
FP7计划	Ecoshopping项目、SESBE项目、Odysseus项目、OSIRYS项目、EFFESUS项目、HOLISTEEC项目、STREAMER项目、BEEM-UP项目、A2PBEER项目、READY项目
地平线2020	Horizon 2020 4RinEU创新项目、Transition Zero项目、DREEAM H2020项目
欧洲智能能源(IEE)计划	BUILD UPON项目、EmBuild支持项目、COHERENO项目、IEE EPISCOPE项目、Certus项目、IEE RePublic_ZEB项目、STEP-2-SPORT项目、Total Concept项目

我国自20世纪90年代末开始发展并应用建筑用纺织材料,近年来,我国建筑用纺织品的用量持续上升,稳居全球第3位(图1),未来在国家相关政策的牵引指导以及市场需求的共同作用下,该领域还有很大的发展空间。根据知名咨询公司Grand View Research的预测,未来几年我国建筑用纺织品将保持6.8%的年均复合增长率。



注:2019—2025年的数据为预估值。

数据来源:Grand View Research。

图1 世界主要经济体2014—2025年建筑用纺织品用量

2 建筑用纺织品的分类及主要应用领域

纺织品作为一种特殊的建筑材料,在建筑中应用可发挥增强、修复、防水、隔热、吸音、视觉保护、防晒、耐腐蚀、减震等多种功能,目前对其并无明确的定义与分类。本文按照其功能属性将建筑用纺织品分为建筑用增强材料、建筑用膜结构材料、吸音隔热材料、防水材料以及其他材料五大类(图2),并从原材料、产品性能特点以及应用场合等维度对各类产品的发展现状进行介绍。

当然,纺织品在建筑中的应用并不局限于此,帆布类遮阳篷、室内装饰用建筑材料等在某种程度上也可划分为建筑用纺织品。而随着科技发展,自修复混凝土、3D石墨烯、透明铝、隐形太阳能电池、发光混凝土等新型建筑材料的出现,必将催生出更多功能特殊的建筑用纺织品,助力建筑的功能化、智能化、绿色化发展。

3 建筑用纺织品的技术进展及趋势

3.1 轻量化材料提升建筑结构的安全性

随着社会经济的发展,全球建筑行业迎来了蓬勃生机,尤其是高层建筑如雨后春笋般崛起,但也伴随着建筑自重过大、抗震性能不佳等一系列问题,建筑结构的轻量化成为解决这些问题的重要途径。纺织材料作为一种轻质、高强度材料,在轻量化建筑中具有天然的应用优势,尤其是碳纤维、芳纶等高性能纤维的应用,为轻型增强型建筑材料的开发提供了重要支撑,在

作者单位:中国纺织信息中心。

图2 建筑用纺织品的分类（按功能划分）

减轻建筑物重量、增强其使用寿命、提高其抗震性等方面发挥了重要作用。

碳纤维复合材料具有轻质高强、耐热性好、耐腐蚀、耐辐射等优异性能，可对建筑物起到减重、抗震效果。全球来看，日本率先将碳纤维制品用于建筑结构中，其飞翔桥是世界上第一座采用碳纤维增强聚合物作为预应力筋的混凝土结构桥梁。后来随着应用的不断扩展，轻质碳纤维复合材料又被应用于房屋建筑中以应对地震频发带来的建筑物倒塌问题。例如，日本建筑师在一座3层建筑上设计了一圈由热塑性碳纤维复合材料制成的琴弦结构（图3），当地震来临时，整个结构虽然

会一起震动但不会因自身重量过大而坍塌。据悉，所用160 m长的碳纤维复合材料仅重26磅。来自土耳其的专家团队也用实际研究成果证明了碳纤维结构材料的抗震性



图3 经过碳纤维复合材料“加固”的抗震建筑物

能，他们在土耳其某地震带附近分别用传统建筑材料和碳纤维复合材料建造了一座建筑，通过液压执行系统模拟地震试验，结果证明碳纤维复合材料建筑具有良好的抗震效果，能够在地震中“存活”。

近年来，碳纤维复合材料在新型建筑中的用量和应用范围不断增加，其功能特点与建筑的整体设计融合得日益精妙。2015年，苹果在芝加哥的新旗舰店就采用了碳纤维屋顶，之后其又在位于加利福尼亚州的总部园区内建设了乔布斯剧院，该剧院采用了世界上最大的碳纤维独立屋顶（图4），由44块相同大小的面板组成，每块板大约长70英尺，宽11英尺，虽然覆盖面大，但由于材料为轻质强化结构，该屋顶无需多余的支撑材料便可实现结构稳定，且大幅节省了建筑材料，增加了建筑空间。



图4 世界上最大的碳纤维独立屋顶

除了高强轻质纤维及其复合材料以外，纺织纤维增强混凝土（TRC）是新型建筑结构中的另一应用热点。作为一种新型高性能建筑材料，TRC将由连续纤维制成的纺织品与混凝土相结合，与传统钢筋混凝土相比，具有更高的耐腐蚀性，延长了建筑的使用寿命，此外还可实现在厚度较小情况下的高拉伸强度，减少了水泥等建筑材料的使用量（图5），有利于减少碳排放。研究表明，与传统的钢筋混凝土结构相比，TRC所需的混凝土量可减少80%，这意味着CO₂排放量最多可减少50%。TRC对所用材料的性能要求很高，需要其具有高强度、



图片来源：C³。

图5 由钢材（左）和碳纤维混凝土制成的同等强度的双T型梁

高硬度和高耐碱性，因此碳纤维、玻璃纤维、芳纶等是TRC的常用材料。

自20世纪90年代以来，德国的亚琛工业大学和德累斯顿工业大学一直在进行织物增强方面的研究，通过C³（Carbon Concrete Composite）这一重量级研究项目，致



(a) 桥梁



(b) 天花板



(c) 展馆



(d) 仓筒

图片来源：C³。

图6 C³项目的成果转化应用场所

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

植物纤维增强绿色复合材料在建筑应用中的性能研究

文 | 王春红 鹿超

摘要: 文章提出了NFPR在建筑应用领域中存在的问题, 并就这些问题综述了国内外在提升NFPR力学性能方面的研究进展; 在此基础上, 从声学、阻燃、挥发性有机物释放及耐老化 4 个方面概述了NFPR在建筑领域的应用性能提升及研究方法, 最后对NFPR在建筑材料领域的发展前景进行了展望。

关键词: 植物纤维; 复合材料; 力学稳定性; 建筑应用

中图分类号: TB332

文献标志码: A

Study on Performance of NFPR in Building Application

Abstract: The paper puts forward the problems of natural fiber reinforced polymer composites (NFPR) in the field of building application, and summarizes the research progress in improving the mechanical properties of NFPR at home and abroad. On this basis, the paper concludes the application performance of NFPR and research methods in the field of architecture from the aspects of acoustics, flame retardant, the release of volatile organic compounds and aging resistance. In the end, the paper looks forward to the development direction of NFPR in the field of building materials.

Key words: natural fiber; composite material; mechanical stability; building application

当今全球环境污染严重, 开发环境友好型新材料是当务之急。植物纤维增强树脂基复合材料 (Natural Fibre – Reinforced Polymer Composites, NFPR) 因具备绿色环保、力学性能高、原料价格低等优势, 已成为国

内外新材料领域研究开发的热点, 并逐步在建筑建造、运动器材、电子电气等民用领域取得应用, 其年均增长率在50%以上。与NFPR相关的研究自2005年起出现持续性增长 (图 1), 且近 3 年增速明显加快。此外, 近10年 NFPR的市场价值以超过10%的速度持续上升, 可见与 NFPR相关科学问题的研究以及NFPR产品的开发和应用是当前全球绿色发展的迫切需求。

建筑产业在国民经济中的支柱作用不断增强, 建筑材料的用量不断增加。在国家大力倡导建设环境友好型社会和实现可持续发展的背景下, 开发NFPR助力绿色建筑产业发展, 已经成为国内外先进材料及技术领域共同关注的话题。因此, 充分利用我国丰富的植物纤维资源, 实现NFPR的高强和高稳定性, 并在此基础上使其吸声、隔热、阻燃等特性进一步改善是扩大其在建筑领域应用及市场占比的关键。

1 NFPR力学性能的改善

建筑用复合材料的力学性能对其在施工过程中的承载能力及建筑结构的稳固性具有重要意义。虽然某些植

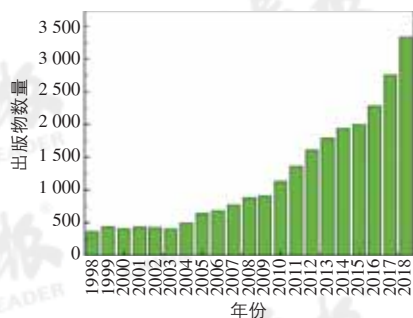


图 1 NFPR领域科学出版物增长趋势

作者简介: 王春红, 女, 1980年生, 教授, 主要研究方向为植物纤维增强绿色复合材料。

通信作者: 王春红, E-mail: 18802231369@163.com。

作者单位: 天津工业大学纺织学院。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11802205); 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室开放基金资助项目 (FK1811)。

物纤维的力学性能与目前广泛应用的玻璃纤维相近,但是NFRP力学性能普遍与玻璃钢差异较大,其主要原因是极性的植物纤维材料与非极性树脂材料之间相容性较差,加之植物纤维表面复杂的微观结构,使得NFRP整体稳定性较差,目前仅在非承力结构或次承力结构部件中使用,限制了其在建筑领域的大范围应用。

1.1 改善NFRP界面结合效果

改善植物纤维与树脂材料之间的界面结合是提升NFRP力学性能的有效方法。其中,物理法和化学改性是最常用的方法。物理法主要包括热处理、等离子体处理、蒸汽爆破处理等,处理后的植物纤维表面结构和特性发生改变,纤维内部结合水减少或纤维表面粗糙度提升,增强了纤维与树脂之间的化学键合和机械锁结。化学法主要包括碱处理、界面偶联处理、接枝共聚处理等,经过处理后的植物纤维化学成分、内部结构及表面性质发生改变,NFRP的界面结合性能得到改善,力学性能和耐湿热老化性能也因此提升。本研究组采用碱和偶联剂对苎麻布进行改性处理并制备了改性苎麻布增强热固性聚乳酸复合材料,当碱液浓度为1%、偶联剂浓度为3%时,NFRP的弯曲强度和弯曲模量最高,较处理前分别提高了60%和52%(图2),所制备的NFRP满足建筑用工程塑料要求。

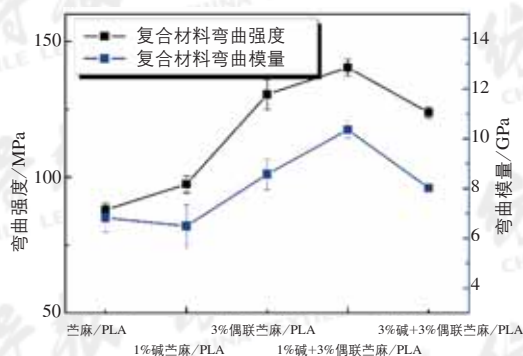


图2 不同改性方法对NFRP弯曲性能的影响

1.2 采用多种增强体

除改善界面结合性能外,采用多种形式的增强体也是提升NFRP力学性能行之有效的方法。本研究组尝试采用独创的改进型赛络菲尔纺制备洋麻/芳纶混纺纱线,与普通环锭纺、赛络菲尔纺和嵌入式复合纺相比,改进型赛络菲尔纺能够在低捻度下顺利纺纱,且所得到的纱线毛羽较少,增加了混纺纱线在复合材料中应用的优势。此外,还依据层间混杂原则,制备了多种混合比的竹原纤维/聚丙烯(PP)纤维毡(图3),通过铺层设计和热压成型工艺的调整,提高了竹原纤维在PP基体中的分散

均匀程度,从而改善了竹原纤维/PP的界面黏合状态,相关测试表明以单向竹原纤维为增强体制备的树脂基复合材料力学性能与玻璃钢相近。



图3 竹原纤维/PP复合材料制备示意图

2 NFRP多功能化研究

2.1 NFRP的声学性能

改善建筑物的声学环境,减少噪声对生产生活的影 响成为人们对高质量生活水平的诉求。在建筑物的噪声控制中,材料的声传输性能至关重要。植物纤维吸声机理与其他常见合成纤维材料相同,但由于其具有密度低、对人体无害的优势,也可将其用于室内声学产品和隔音屏障材料中。

图4为剑麻纤维与玻璃纤维横截面结构的对比,从中可以明显看出,剑麻纤维具有中空,植物纤维内部连通的空腔结构是其吸收声波的关键。植物纤维吸收声能主要有3个过程,一是当声波入射到纤维上,纤维结构和空腔之间的粘性效应会削弱部分声能并将其转化为热能;二是由摩擦引起的纤维间温度差异产生传热过程,进一步消散声能;三是NFRP中的空气振动带动纤维振动,声波通过外部空气和纤维空腔的振动传播,逐步被削弱。因此,与玻璃纤维相比,植物纤维独特的空腔结构赋予其优异的吸音能力。此外,植物纤维具有多尺度结构,单根植物纤维由一束具有中空结构的亚纤维构成,亚纤维的细胞壁由数百万纳米纤维组成,纳米结构形成更多的声波传播路径,并与细胞壁之间产生更多摩擦。

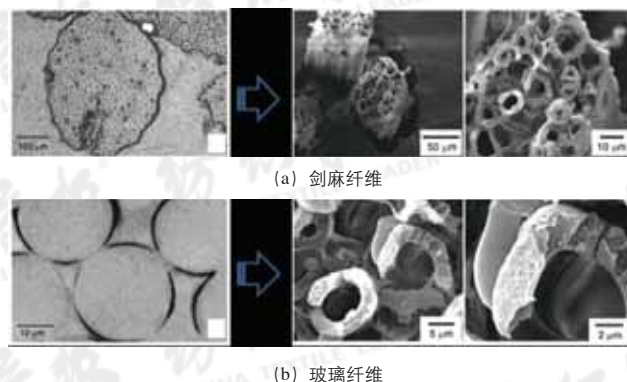


图4 剑麻纤维与玻璃纤维横截面对比

NFRP的吸音性能取决于纤维间孔隙和纤维细胞空腔,孔隙的数量、大小、类型均是多孔材料吸声机制研究过程中的重要考量因素。为了通过摩擦消散声波,材

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

智能纺织材料在建筑物健康监测和自修复领域的研究与应用

文 | 陆春红 许庆丽 景媛媛 杨晓娜 金艳红 胡文鑫 张 坤

摘要: 随着科技的飞速发展,建筑领域对于智能纺织材料的需求日益增强,建筑物的健康监测和自修复也逐渐成为研究的热点。文章主要介绍了智能纺织材料在建筑物健康监测和自修复方面的原理、应用,总结了现阶段的研究现状,并预测了未来健康监测和自修复技术的发展方向。

关键词: 智能纺织材料; 建筑; 健康监测; 自修复

中图分类号: TB381; TS106

文献标志码: A

Development and Application of Smart Textile Materials in Health-monitoring and Self-healing of Architecture

Abstract: With the rapid development of science and technology, the need for the application of smart textile materials in architecture is boosted drastically, and health-monitoring and self-healing of architecture have gradually drawn intense research attention. This paper mainly introduces the mechanism and application of smart textile materials in health-monitoring and self-healing of architecture, summarizes the current research progress of new techniques, and predicts the future development of health-monitoring and self-healing technologies.

Key words: smart textile materials; architecture; health-monitoring; self-healing

智能纺织材料融合了纺织、电子、物理、化学等多技术为一体,大多由能够对外界环境变化作出响应的材料制成。智能纺织材料具有较高的实用性与适用性,其研发和应用正朝着高性能、高技术、大规模方向发展,在满足各种行业需求方面发挥着重要作用。

随着科技的快速发展,建筑领域对智能纺织材料的需求日益增长,即人们希望建筑用智能纺织材料具有监测建筑自身健康状况的作用并且及时提供安全警示,从而进一步对材料进行修补替换,或者利用自修复材料来延长建筑的使用寿命。本文结合了国内外的研究进展,

介绍了智能纺织材料在建筑物健康监测和自修复领域的研究与应用现状,并预测了未来的发展趋势。

1 健康监测方面的研究应用

建筑物一旦建成就很难替换,并且使用年限较长。但任何建筑物都会随着时间而劣化,这主要由于建筑材料本身老化、环境侵蚀、缺乏及时的维护和合理的监测手段等。有效的建筑物健康监测系统能够实时诊断其缺陷(裂纹、锈蚀等)的位置和程度,使建筑物能得到及时修复和加固,以确保其完整性和安全性。目前,很多建筑物健康监测方法已经应用于各种土木工程结构或构件中。传统方法多数为定性检测,难以进行实时监测。随着智能材料和通信技术的发展,智能材料(如压电材料、光纤传感器、磁致伸缩材料和水泥基智能复合材料等)为建筑物结构长期、实时的健康监测提供了新的方法。这些智能材料与建筑物融合在一起可以组成智能结构系统,实现远距离监测。

作者简介: 陆春红,女,1989年生,博士,主要研究方向为高性能纤维与智能纺织材料。

通信作者: 张 坤,特聘研究员, E-mail: kun.zhang@dhu.edu.cn。

作者单位: 东华大学纺织学院,纺织面料技术教育部重点实验室。

基金项目: “中央高校基本科研业务费专项资金”学科交叉重点计划项目(19D110106)和自由探索项目(19D110110);东华大学励志计划基金项目;东华大学青年教师科研启动基金项目。

1.1 健康监测需求

科技的大举创新与工业的飞速发展促进了大型建筑结构诸如桥梁、隧道等工程建设的大力发展。然而由于外部环境载荷、建筑结构本身以及结构整体分析中因模型简化而产生的潜在不确定性等因素导致现代工程结构容易出现一系列安全隐患,而由此引起的灾难性破坏往往导致重大人员伤亡事故以及巨大经济损失。因此,目前迫切需要创新思路或有效方法来解决工程结构加固以及在其生命周期内安全监测的问题。

1.2 智能纺织材料的应用

智能纺织材料是将智能材料以纺织加工技术如织造或后整理的形式引入纺织品中,其除了具备普通纺织材料的基本性能外,还具备感知功能,能够根据外界环境变化实时改变自身的性能参数,作出与环境相适应的自我调整。在建筑领域,智能纺织材料的研发和应用将进一步拓宽纺织品在建筑健康监测和自修复领域的应用范围。

1.2.1 纤维增强聚合物—光纤光栅智能复合筋

纤维增强聚合物(Fiber Reinforced Polymer, FRP)是由纤维材料(如玻璃纤维、碳纤维及芳纶等)与基体材料经缠绕、模压或拉挤等成型工艺而形成的复合材料。由以上3种不同增强材料制备的纤维增强聚合物有如下特点:比强度高,比模量大;材料性能具有可设计性;抗腐蚀和耐久性能好;热膨胀系数与混凝土相近,因此FRP材料能满足现代建筑结构向大跨、高耸、重载、轻质高强以及恶劣条件下工作的需要,同时也能满足现代建筑工业化发展的要求,在民用建筑、桥梁、公路、海洋、水工结构以及地下结构等领域中备受青睐。

光栅光纤传感技术(Fiber Bragg Grating, FBG)是以Bragg光栅作为敏感元件,其对温度和外加应力变化极为敏感,通过Bragg光栅中心波长的变化可以得出相应的温度和应力变化。它可实现高精度、远距离监测工程结构,同时在长期稳定性、耐久性等方面具有独特优势,故而在现代工程结构健康监测与安全评估中显示出优异的自感知功能。

将FRP与FBG结合,制成集补强功能与结构健康监测于一身的智能复合筋,在工程中具有广阔的应用前景。如图1所示,在基于FBG的智能斜拉索索体加工成型时,放入与拉索中的平行钢丝等长等直径的FBG—FRP智能筋,索力作用下二者协同变形,利用智能筋中光栅光纤传感器波长变化,可感知拉索应变进而得出其索力。为消除温度对FBG的影响,在索体内布设FBG筋进

行温度补偿。FRP—FBG智能筋在工程上可实现有效监测拉索力的功能。

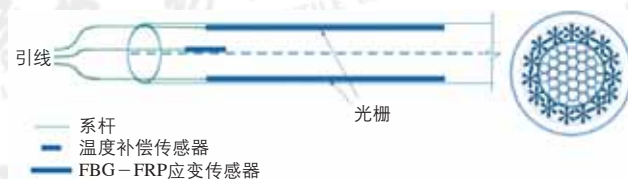


图1 智能筋结构示意图

兰春光等通过将FBG内嵌入玻璃纤维增强复合材料获得智能复合筋,发现此种智能复合筋兼具优异的力学和传感性能,其刚度相比于普通玻璃纤维材料所制成的智能筋有较大程度的提升。碳纤维和玻璃纤维增强聚合物—FBG传感器可用于实时监测复合材料在拉挤工艺过程中应变的变化情况,测试数据比传统应变测量仪输出的结果更加稳定精确。通过将布里渊分布式光纤和FBG通过环氧树脂和钢丝相结合制成的智能吊桥索具有高精度和测量范围广等优点,并且大量实验表明智能吊桥索在高应力下展示出优异的可重复性、稳定性和准确性。

目前基于FRP—FBG所研制的结构健康监测技术主要应用于土木工程中。应用较广的领域有以下几方面:首先是大跨度桥梁的监测,日本明石海峡大桥和香港青马大桥安装了大量FBG,显示出优良的监测性能;其次是超高层建筑监测,天津117大厦、上海中心大厦等都安装了一套结构健康监测系统验证其响应和性能;还有对于水利工程的监测,基于FBG技术对温度场进行监控和实验的研究在三峡工程混凝土大坝施工期间取得了有效的成果。除此之外,结构健康监测技术在大跨度空间结构、近海工程方面的应用也十分广泛,对于隧道、轨道、核设施及基坑工程等也发挥着重要的作用。

1.2.2 碳纤维智能传感器

碳纤维智能传感器是由碳纤维与混凝土、树脂等基体材料复合而成的智能材料。除了可用作承载的结构材料外,还具有导电性和自感知功能,因其力阻效应(自身的电阻随着材料受力状态的改变而发生变化)、温敏效应等特性较明显,故而可以反映出结构的状态。目前研究较为广泛的主要是智能混凝土和树脂基碳纤维智能复合材料。

智能混凝土是指具有感知、记忆、自适应及自修复特性的混凝土材料,是在原有混凝土材料中复合智能组分来实现的。在碳纤维混凝土中,碳纤维的掺入大幅提升了混凝土材料的导电性能,这使得探测混凝土在受力时内部微结构的变化成为了一种可能,可应用于温度自

.....

更多精彩内容，敬请订阅《纺织导报（产业用纺织品专刊）》

单本定价：25 元

垂询电话：010-84463638-8850

银行付款

开户行：中国工商银行北京东长安街支行

户 名：中国纺织信息中心

账 号：0200053409089100427

微信支付



中国纺织信息中心——《纺织导报》

广告索引 | Index of Advertisers

广告商 Advertiser

Oerlikon
 Truetzschler Nonwovens.....

页码 Page

封面
33

公司与机构索引 | Index of Companies and Organizations

A		G		N	
ABG	26	GSE	24	NAUE	26
AGRU	69				
Andritz	19	H		O	
		宏祥	52, 75	Oerlikon	20
B		HUESKER	23		
BASF	29, 86			S	
Brückner	57	I		Snowsound	85
		ITA	82	Solmax	27, 56
D		Itema	20		
Dilo	19	K		T	
Dornier	21	Karl Mayer	21, 36	Tenax	24
Dupont	23	KVA Matx	88	TenCate	25, 55, 66
				Tensor	27, 66
E		L		天鼎丰	24, 52
Eden	32	Layfield	23		
EPT	24			X	
Eternit	31	M		旭域	71
Evoqua	24	MACCAFERRI	27, 66	Z	
		Machina-TST	23	中联格林	70
F					
FARE	52				
Forta	31				
Freudenberg	85				

纺织导报®

CHINA TEXTILE LEADER

传递纺织科技信息 推动企业价值增长

国际标准刊号: ISSN 1003-3025

国内统一刊号: CN11-1714/TS 邮发代号: 82-908

每月8日出版 大16开 每期96页

全铜版纸彩色精美印刷

全年12期, 每期25元, 全年定价300元

订户单位: _____

收件人: _____

职务: _____

电话: _____

邮寄地址: _____

邮编: _____

E-mail: _____

自 _____ 年 _____ 期开始订阅, 每期 _____ 本, 共 _____ 期, 付款金额 _____ 元

【银行付款】开户行: 中国工商银行北京东长安街支行

户 名: 中国纺织信息中心

账 号: 0200053409089100427

【联系方式】北京市朝阳区霞光里15号霄云中心210室 (100026)

中国纺织信息中心《纺织导报》编辑部

电 话: 010-84463638转8850



纺织导报®

CHINA TEXTILE LEADER



关注《纺织导报》官方微信

传递纺织科技信息 推动企业价值增长

以全新视野、宏观视角、深刻思想、前瞻观点，发现纺织科技进步所带来的巨大价值和无限潜力，解析技术市场变局，促进价值生产和传递，实现传媒自身价值，构建纺织业交流平台。



欢迎订阅《纺织导报》杂志

订阅热线: 010-84463638-8850

更多精彩内容请登录本刊网站: www.texleader.com.cn

