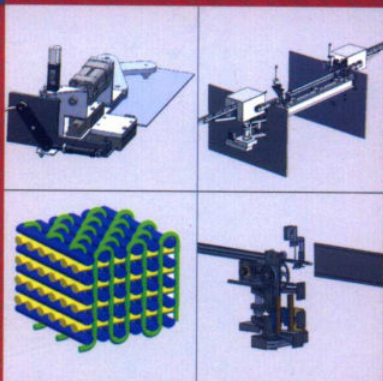


“十三五”国家重点图书 | 纺织前沿技术出版工程



三维织机装备与 织造技术

SANWEI ZHIJI
ZHUANGBEI
YU
ZHIZAO
JISHU

杨建成 蒋秀明 赵永立 © 等编著

国家一级出版社



中国纺织出版社

全国百佳图书出版单位

“十三五”国家重点图书
纺织前沿技术出版工程

要 目 容 内

三维织机装备与织造技术

杨建成 蒋秀明 赵永立 等编著

 中国纺织出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了三维织机原理与方案设计,包括总体思路、技术要求、功能要求;重点介绍了三维织机装备五大机构及辅助机构的三维设计,相关机构的静力学、动力学分析及优化,控制系统的设计,三维立体织物(包括多层织物、中空织物、变截面织物及印染导带高强度多层立体织物)的织造原理与技术使用;最后对三维织造准备工序筒管缠绕和整经技术进行了介绍。

本书可供高等院校机械工程、纺织工程专业的研究生、本科生作为教材,也可供纺织机械设计、复合材料骨架织造、传送带织造及相关企业从事设计研究、产品开发的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

三维织机装备与织造技术/杨建成等编著. --北京:
中国纺织出版社, 2019. 9
(“十三五”国家重点图书·纺织前沿技术出版工程)
ISBN 978-7-5180-5891-4

I. ①三… II. ①杨… III. ①三维编织—研究
IV. ①TB301.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 004844 号

策划编辑: 孔会云 责任编辑: 沈 靖
责任校对: 楼旭红 责任印制: 何 建

中国纺织出版社出版发行
地址: 北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码: 100124
销售电话: 010—67004422 传真: 010—87155801
<http://www.c-textilep.com>
中国纺织出版社天猫旗舰店
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>
北京玺诚印务有限公司印刷 各地新华书店经销
2019 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
开本: 710×1000 1/16 印张: 19.25
字数: 255 千字 定价: 98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前 言

碳纤维等高性能纤维多层立体织物是目前迅速发展的一类新型复合材料的增强结构骨架材料,是航空、航天、国家防御和高技术领域的重要基础材料。以高性能纤维立体织物为骨架所形成的复合材料具有低密度、高比强、良好韧性、耐高温、抗氧化等优异性能,成为航空航天器结构、发动机、制动装置以及热防护等主要系统的关键材料,并可广泛应用于风力发电、海洋开采、船舶制造、汽车轻量化等高新技术领域。

航空航天工业的需求是高性能碳纤维和复合材料发展的主要推动力量。进入 21 世纪,国际上航空航天技术竞争日趋激烈,飞行器技术向更高性能方向发展,要求材料具有更优异的耐高温性能、更高的强度和抗冲击性,同时具有更低的结构重量。在复合材料制造流程中,碳纤维的纺织加工是材料制备的关键过程,对后续流程工艺和最终产品性能有着十分重要的影响。目前我国碳纤维多层角联织物织造多以手工、半机械织造为主,导致产品制造周期长、成本高、性能低、质量不稳定,严重影响新材料的产业化应用。同时也影响我国高性能纤维自动化织造装备的研发,制约了民用碳纤维复合材料在纺织机械、汽车、建筑等行业的应用和推广。

三维织机装备与织造技术和传统织机与织造技术有着本质的区别。以织造多层角联织物为例,采用沿厚度方向的接结纱线将多层排列的经纱和纬纱捆绑在一起形成三维立体织物,碳纤维贯穿于空间各个方向,确保材料整体的力学性能。碳纤维属于无捻长丝,由于其剪切强度较低,在织造过程中,反复的开口动作会导致其起毛、粘连、断头,从而造成织造困难。如果完全采用传统的开口装置、穿综方法与织造工艺流程,其中任何一个环节都会有不同程度的起毛、粘连、断头等不良现象,其中影响最大的是开口与穿综两个环节。即使得到了碳纤维三维立体织物,但是织物表面会有起毛以及经纱张力不一致的现象,用这种三维立体织物复合得到的碳纤维复合材料,其性能是达不到要求的。所以,必须对三维织机的送经、开口、引纬、打纬、卷取五大机构以及织造工艺进行深入研究,解决织造过程中碳纤维起毛与张力不一致的问题。

三维织机装备的五大运动及各装置均由独立的电动机或气动元件驱动,采用光电传感技术、多电动机驱动控制技术、气动技术、信息技术、织造工艺辅助设计技术,

根据设置的织造工艺时序要求,通过计算机控制实现多层立体织物织造过程的在线检测、自动控制和调节、显示,将原来的手工作业变为自动化、智能化作业,大幅提高生产效率,降低劳动强度,节约人工成本,极大地降低织物生产成本,同时能够实现连续化生产,节约大量时间,提高生产效率,对我国纺织行业具有一定的推动作用,具有广阔的应用前景。

本书编著者在完成国家“十二五”科技支撑项目的基础上,结合自身多年的教学经验和科研成果,编写了本书。其中,杨建成编写了第二章,第三章的第一、第二、第六、第七节,第四章的第一、第二、第三、第五节,第六章和第八章;蒋秀明编写了第一章,第三章的第四节,第七章;赵永立编写了第五章;李丹丹编写了第三章的第三、第五节;袁汝旺编写了第四章的第四节。全书由天津工业大学杨建成、蒋秀明、赵永立修改并定稿。研究生李笑参与了部分资料的收集、整理和绘图工作,在此向他表示衷心的感谢。同时向所有关心、支持和帮助本书编写、出版和发行的同志们致以诚挚的敬意。

本书获得天津市普通高等学校“十三五”综合投资规划专业建设有关项目资助。

由于编著者水平有限,书中难免存在不足,恳请专家、学者及使用本书的广大读者批评指正,意见请寄:天津工业大学机械工程学院纺织机械设计及自动化系,或发送邮件至 yjcg589@163.com。

编著者

2018年12月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 碳纤维的特性、碳纤维复合材料及其应用	1
一、碳纤维的特性	1
二、碳纤维复合材料及其应用	2
第二节 三维织机装备技术的国内外发展概况	5
第二章 三维织机原理与方案设计	9
第一节 三维织物的特点	9
一、三维织物的特点	9
二、三维角联机织物	10
第二节 三维织机总体设计路线	11
一、技术路线	11
二、研究方法	12
第三节 三维织机的技术要求	13
一、设计过程需要考虑的技术难点	13
二、技术指标	14
第四节 三维织机功能要求	15
一、三维织机设计原理	15
二、主要运动的时间分配及时序要求	19
第三章 三维织机装备设计	21
第一节 三维织机设计原则与技术要求	21

一、设计原则	21
二、技术要求	21
第二节 三维织机组合式开口机构设计	22
一、开口机构设计要求	22
二、开口工艺分析	23
三、开口机构设计	27
四、开口装置三维软件集成设计与仿真	33
第三节 三维织机引纬机构设计	42
一、引纬机构技术要求及工作原理	42
二、引纬机构设计	43
三、引纬运动规律的设计	45
第四节 三维织机打纬机构设计	50
一、打纬机构技术指标	50
二、打纬机构技术要求	51
三、四连杆与曲柄滑块组合的打纬机构设计	51
四、打纬机构理论分析和实体建模	52
五、四连杆+曲柄滑块打纬机构运动学、动力学分析	57
六、基于 Kelvin 理论的打纬机构优化设计	72
第五节 三维织机厚重织物卷取机构设计	77
一、卷取机构设计	77
二、牵引机构设计	78
三、储纬机构设计	81
第六节 三维织机多轴送经机构设计	83
一、送经机构设计要求	83
二、机械结构设计要求	90
三、送经部件机构设计	91
四、张力部件机构设计	92

五、捻纱部件机构设计	94
六、纱路图设计	96
七、碳纤维多层角联织机送经机构虚拟样机研究	96
第七节 三维织机织边机构设计	100
一、织边原理及设计方案	100
二、电子提花机的选择	100
三、边纱梭口参数	101
四、织边机构筒子架设计	102
第四章 三维织机装备静力学、动力学分析与优化	106
第一节 机械优化设计概述	106
一、机械优化设计基本原理	106
二、机械优化设计分析流程	107
三、机械优化设计数学模型	107
第二节 引纬机构优化设计	108
一、引纬机构结构分析	108
二、引纬运动规律对剑杆运动的影响分析	110
三、考虑齿轮动态啮合力的三维织机引纬机构设计	118
第三节 预打纬机构优化设计	126
一、预打纬技术背景	126
二、吸气系统的创新设计	126
三、吸纱风道流场的 FLUENT 计算与模拟	128
四、负压吸嘴模型的创新设计	133
五、预打纬装置偏置曲柄滑块的 MATLAB 优化设计	134
六、预打纬装置模型的建立	139
第四节 打纬机构优化设计	141
一、轴向六连杆打结机构工作原理	141

一、碳纤维立体织物种类及编织过程	204
二、穿纱工艺研究	208
三、主要穿纱机构	213
第二节 中空织物织造的原理与技术	215
第三节 变截面织物织造的原理与技术	216
一、立体变截面织物结构	216
二、变截面织物结构分析	219
三、变截面织物织造方法研究	220
四、变截面立体织物的织机引纬机构设计研究	227
第四节 印染导带高强度多层立体织物织造技术	237
第七章 碳纤维整经机设计	241
第一节 碳纤维整经机原理及方案研究	242
一、碳纤维整经机技术要求分析与研究	243
二、碳纤维整经工艺分析和计算	244
三、碳纤维整经机整机设计方案	245
第二节 碳纤维整经机卷绕理论分析研究与机构设计	250
一、卷绕理论分析和研究	250
二、碳纤维整经卷绕工艺分析研究	253
三、碳纤维整经机卷绕工艺设计与计算	254
四、碳纤维整经机卷绕装置机构设计	256
第三节 碳纤维整经机恒张力控制系统设计	258
一、碳纤维整经机张力控制系统的特殊性	258
二、现有整经机张力控制系统的研究	258
三、碳纤维整经机张力控制系统的研究和设计	259
第四节 碳纤维整经机三维设计与仿真分析	270
一、现代设计方法特点	270

二、Solidworks 下三维模型的建立	271
三、张力检测辊 ANSYS 分析	271
第五节 整经系统检测分析	276
一、实验准备	276
二、实验用纤维种类	277
三、实验工艺参数设定	277
四、实验过程	278
五、实验结果	280
第八章 碳纤维筒管缠绕机设计	283
第一节 碳纤维缠绕机原理方案设计	283
一、碳纤维缠绕机研究方案设计	283
二、卷绕工艺要求	283
三、碳纤维缠绕机的技术指标	286
第二节 导丝机构设计	286
一、导丝机构特点分析	286
二、导丝机构设计	288
三、拨叉的设计	290
第三节 缠绕、退绕机构设计	291
一、缠绕机构设计	291
二、退绕机构设计	292
第四节 整机的三维建模与仿真	292
一、导丝机构的三维建模	292
二、传动机构设计与三维建模	293
三、整机设计与三维建模	294
四、导丝机构的仿真与动态分析	294

第一章 绪 论

第一节 碳纤维的特性、碳纤维复合材料及其应用

一、碳纤维的特性

碳纤维是以纤维和石油产品为基本材料，经过特殊的加工工艺，形成的含碳量在 90% 以上的高强度、高抗拉纤维。碳纤维既有碳材料“硬”的固有所征，又兼备纺织纤维“柔”的可加工性。

碳纤维及其长丝最初由美国发明家爱迪生通过碳化竹纤维和黏胶制成。1958 年，美国联合碳化物公司采用人造丝制成性能很差的碳纤维。1959 年，进藤昭男首次提出用聚丙烯腈（PAN）纤维来制造碳纤维并申请了专利，其制得的碳纤维性能有所进步，但性能仍然比较低，获得了一定程度的市场认可。20 世纪 60 年代初，英国皇家研究所的瓦特等人通过在碳纤维作业相关过程中对纤维施加张力，首次得到高性能碳纤维。1969 年，日本东丽公司研制成新型的共聚 PAN 基原丝，结合美国联合碳化公司的技术，生产出高强度、高模量碳纤维。此后东丽公司在产量和质量上一直占据世界碳纤维领域的顶级地位。日本多家企业也相继开始进行碳纤维的生产。20 世纪 80 年代，美国联合碳化物公司开发了用中间相沥青制备高性能碳纤维的技术，开创了另一个制备高性能碳纤维的领域。

1. 碳纤维的分类

不同技术路线得到的碳纤维性能也不同。一般而言，碳纤维分类原则有以下两种。

(1) 根据所得碳纤维的力学性能不同，可将碳纤维分为高强度、超高强度、高模量以及超高模量四种。

(2) 根据制备原丝的不同类型，可将碳纤维分为聚丙烯腈（PAN）基碳纤维、纤维素（黏胶）基碳纤维、沥青基碳纤维和酚醛基碳纤维。

聚丙烯腈基碳纤维具有强度高、刚度大、重量轻、耐高温、耐腐蚀的优点，

并且电学性能特点突出,具有优良的抗压、抗弯性能,虽然研发较早,但至今依旧在碳纤维市场占据很大份额。

纤维素基碳纤维导热系数小,与生物的相容性好,是良好的环保和医用材料。但是相比 PAN 基碳纤维,纤维素基碳纤维由于制备工艺复杂,性价比较低,因此逐渐淡出了碳纤维制备的主流,目前只占碳纤维产量的很小一部分。

沥青基碳纤维的生产原料成本低,但工艺复杂,导致生产成本较高;抗压强度较低,聚丙烯腈后加工性能也不如 PAN 基碳纤维,因此生产和应用都受到限制。但是,由于沥青基碳纤维具有优良的传热及导电性能,热膨胀系数极低,在军工及航天领域仍不可或缺。

酚醛基碳纤维阻燃性、绝缘性极好,加工工艺简单,碳化效率高,手感柔软,但强度和模量较低,因此,主要被用于制作复写纸原料、耐腐蚀电线,以及特种服装。

2. 碳纤维的特点

尽管碳纤维凭借其优良的性能可以单独应用并发挥作用,然而碳纤维自身也有缺点。其轴向拉伸强度高,但剪切强度低,实际上很多碳纤维丝束甚至可以直接用指甲掐断。因此,碳纤维制品需要经过复杂的设计计算以保证碳纤维制品符合受力要求。碳纤维普遍不耐摩擦,丝束与其他物体接触摩擦会导致碳纤维丝束起毛磨损,造成碳纤维损伤,并且其摩擦产生的纤维碎屑对周围环境造成污染,甚至吸进肺部对人体健康造成损害。此外,碳纤维及其制品普遍比较昂贵,生产成本高,技术要求高,限制了碳纤维及其制品的应用推广。

由于碳纤维制备技术的不断发展进步,对于碳纤维的应用也在不断增加。虽然碳纤维可以在某些应用场合独立发挥作用,但其自身脆性大,伸长率低,直接使用的情况较少,只有将它与其他材料复合在一起共同发挥作用,才能扬长避短,真正发挥出其独特的力学特性。因此,碳纤维的主要应用方式是作为复合材料中的增强材料。

二、碳纤维复合材料及其应用

碳纤维复合材料(CFRP)具有良好的导电性、导热性和耐腐蚀性,同时因其材质密度小、抗拉强度高优异性能,是高新技术纤维领域颇受关注的品种之一。高性能碳纤维复合材料已超越了传统的钢、钛、铝等金属材料,在航空结构材料方面具有无可替代的作用,同时也是国家防御、能源环境、土木建筑、机械电子、运动休闲等领域的重要材料。碳纤维复合材料已成为产业用纺织品中的重要高端

产品,在很大程度上对国民经济的发展起到了促进作用,增强了国家的综合实力。

1. 碳纤维复合材料

在纤维织物的重要性得到广泛认识之前,复合材料的增强材料主要有短纤维和连续纤维束(长丝)两种形式,增强纤维之间未能有效地缠结,仅靠基体材料将其黏结,横向强度和抗冲击损伤等性能低。纺织加工方法可以将增强纤维加工成二维形式的纺织结构,使增强纤维按一定的规律在平面内相互交织和缠结,大大提高了材料的面内强度,改善了材料的面内抗冲击损伤性能。但是,以二维纺织结构增强的复合材料通常不是材料的最终形式,还需要通过传统的铺层加工方法制成层合结构。这种层合结构复合材料由于层与层之间缺乏有效的纤维增强,故层间性能较差,冲击损伤容限较低。为了改善层合结构复合材料的不足之处,20世纪80年代起,三维纺织技术日趋活跃,出现了多种形式的以三维立体织物为增强骨架的复合材料。

目前碳纤维复合材料主要有碳纤维增强陶瓷基复合材料、碳/碳复合材料、碳纤维增强金属基复合材料和碳纤维增强树脂复合材料。

(1) 陶瓷材料:广泛应用于各种工业和民用产品,具有耐腐蚀、耐磨损、耐高温以及化学性质稳定等优点。但是,其不足也很突出,如脆性大,对裂纹、气孔等细微的缺陷较敏感。碳纤维增强陶瓷材料在继承陶瓷材料优点的同时,克服了陶瓷材料的不足。目前,发展比较完善的碳纤维增强陶瓷材料是碳纤维增强碳化硅材料,其在高温下力学性能突出,在高温工况下不需要附加的隔热措施,因此在航空航天领域应用广泛。

(2) 碳/碳复合材料:全称为碳纤维增强碳基复合材料,由碳纤维或碳纤维纺织品增强碳基复合材料构成。因为其结构几乎完全由人工设计制造,所以碳/碳复合材料具备很多突出特性,不仅强度和刚度大、尺寸稳定、抗氧化腐蚀和耐磨损,而且具有很好的断裂韧性和假塑性,特别是在高温工况下不熔融、不燃烧。因此,碳/碳复合材料普遍用于航空制导飞弹、火箭发动机和高速刹车盘等领域。

(3) 碳纤维增强金属基复合材料:其以碳纤维作为增强相,金属材料作为基体相,比一般金属材料的比强度高和比模量高;比单纯陶瓷材料韧性高,更耐冲击。其中,碳纤维增强铝、镁复合材料的制备技术发展较为完善,但是由于其制备流程复杂、生产成本低,制约了碳纤维增强金属基复合材料的发展。

(4) 碳纤维增强树脂基复合材料:是当前最尖端的复合材料之一,具有重量轻、强度高、耐高温性能出色、耐腐蚀、热力学性能优异等突出特点,因而作为结构材料或耐高温、耐烧蚀材料广泛使用,是其他纤维增强复合材料难以比肩的。

碳纤维增强树脂复合材料所用的基体树脂主要分为热固性树脂和热塑性树脂两大类。常用的树脂基材料包括环氧树脂、双马来酰亚胺树脂、聚酰亚胺树脂以及酚醛树脂等。

碳纤维增强树脂基复合材料中，碳纤维预制骨架作为增强相起增强作用，树脂材料作为基体相把碳纤维预制件和树脂成型为整体。热固性树脂基碳纤维增强复合材料强度大、模量高、密度低、自润滑、耐摩擦，还具有耐腐蚀、耐疲劳、寿命长、抗蠕变、热膨胀系数小、耐水性好等特点。热塑性树脂基碳纤维复合材料近几年飞快发展，除高强度、高刚度、低蠕变、热稳定性好、线膨胀系数小外，还具有自我润滑、耐磨损、不损伤磨件、阻尼特性优秀等特点。

早期的碳纤维增强复合材料采用简单散乱纤维、纤维毡或者纤维布作为增强结构。随着人们对复合材料性能的要求越来越高，科学家将碳纤维布用铺层方式支撑层压板复合材料，这种铺层复合材料制作工艺简单，只需要简单的设备，依靠人工铺层就可以制成，技术很快就发展成熟，并且生产成本低。但是铺层工艺法采用在模具上刷一层树脂材料，然后贴一层纤维布的方式，树脂在制成的复合材料内部分布不均匀，各层纤维增强材料靠树脂黏合在一起，层间剪切及冲击强度低，易脱层。因此，此类碳纤维增强材料已经不能适应对复合材料要求苛刻的工况，一般用于对性能要求不苛刻的场合。

为改善铺层工艺制作复合材料层间性能差的不足，三维织物开始引入增强复合材料中。三维织物除平面内经纬交织外，还有厚度方向的纤维系统，是三维立体的空间规则结构。与普通织物相比，具有厚度大、刚度大、结构设计更加灵活多样以及可设计成异形截面等优点。现在，碳纤维增强复合材料主要以三维织物作为增强体，通过树脂传递模塑（RTM）工艺成型制造。目前，三维织物加工方法主要有针织、机织、编织和非织造。三维编织技术仿形编织能力强大，可完成复杂结构的整体编织，但对碳纤维来说，编织对纤维的损伤较严重；三维针织物增强复合材料的力学性能优势并不明显；非织造方式生产的织物以短纤维为主，并不适合碳纤维，不能发挥出碳纤维的优势。三维立体机织物靠接结纱在厚度方向上将若干层经纬交织形成的二维机织系统连接起来，形成三维立体空间网状结构。三维织物整体性能优异，并且可在现有普通织机上改造或在专用设备上生产，生产效率高，因此应用前景广阔。

2. 碳纤维复合材料的应用

当前，工业科技领域对高性能材料的需求不断高涨，碳纤维及其复合材料由于出色的性能备受关注，从20世纪70年代碳纤维开始商业化生产以来，迅速发展

壮大。目前,碳纤维市场基本被国外垄断,其中日本的东丽、东邦和三菱三家企业的产能约占全球的一半,其他分量则被美国及欧洲占据。我国台湾地区由于和美国和日本的合作,也占据了全球产能的一定份额。中国大陆由于碳纤维开发比较晚,发达国家曾经对中国大陆禁运碳纤维,同时由于国外的技术封锁,中国大陆的碳纤维整体落后于发达国家。

随着科学技术的不断进步,碳纤维复合材料取得飞跃式的发展,并且广泛应用于航空航天领域。由于碳纤维复合材料独特的结构特点以及广泛的实用性,其在能源、交通、建筑以及海洋等工业行业的运用也迅速扩大。

碳纤维复合材料主要应用在以下领域。

(1) 国防工业。因为碳纤维具有无弹性、质量小、导电和导热性好、刚性好等性能,人们很早就将其应用在人造卫星等航天器中。碳纤维复合材料在航空航天上的应用主要集中在航天飞行器。

(2) 体育休闲用品。在体育休闲用品行业中,应用碳纤维复合材料比例最高的是各类球拍、比赛用单车、滑雪橇、棒球棒、滑雪板等。碳纤维复合材料也广泛应用在冰球棍、冲浪器具、赛艇等其他体育设备中。

(3) 一般工业。近年来,一般工业对碳纤维的需求也逐渐增加,尤其是能源等领域,如风力发电叶片、飞轮、电池、油气开采等。

第二节 三维织机装备技术的国内外发展概况

三维织机装备主要用来织造立体织物,其中,最具代表性的立体织物之一是多层角联织物,它是采用沿厚度方向的接结纱线将多层排列的经纱和纬纱捆绑在一起形成整体织物。多层角联织物具有一定的厚度和较大的幅宽,可以制备多种异形骨架型材,如T型、L型等。该类技术还可以通过纱线局部的弯曲和剪切变形,高效率地铺敷出复杂形制品,用于复合材料成型工艺,可以有效减少织物铺敷过程中的铺层工作量,缩短加工周期,同时提高制品的力学性能,在汽车、船舶、风力发电等民用领域具有广阔的应用前景。采用多层角联织物制作的高级游船,成本比采用二维织物铺层的成本降低20%,铺敷周期缩短了一半。

结构简单的立体织物可以由改进后的二维织机织造,但是近年来立体织物结构正朝着复杂化的方向发展,再加上碳纤维等复合材料的推广及应用,因此加强对织造碳纤维多层角联织物的织机和变截面织机的研究就变得越来越重要。

20世纪70年代,西方发达国家就开始了三维织机的研究与探索,目前,美国、德国、英国、澳大利亚等在复合材料三维织造设备领域都处于领先地位。日本福田(Fukuta)作为三维织机的开创者早在1988年就发明了可以织造多种截面形状的立体织机。Shoshanna公司在普通提花机上添加了多经轴送经机构、经纱张力反馈装置、多层开口机构以及三维织物牵引机构,使其最终可以织造高品质三维织物。King研究出了可织造立体正交织物的织机,该织机有三个相互独立的供纱系统,并可对纱线密度进行调节。Rzuand首先在织机上添加了运动方向相反的浮纹装置,该织机可以织造角联织物。Anahara首先研发出三维多轴向织造技术,后经过Bilisik、Addis等的探索与改进,三维多轴向织造技术已经日渐成熟,现该技术可实现多种结构的三维织物织造。

多年以来,在政府和企业的推动下,以美国为首的很多发达国家都相继制订了多个复合材料织造设备研究规划,美国对复合材料织造设备的研究规划可追溯到1976年,在1976~1985年,美国航空航天局(NASA)制订了“飞行器能效计划”,开始专注于研究复合三维纺织增强材料的织造设备及织造方法。1985~1997年,美国航空航天局又将1.2亿美元投入到“先进复合技术方案计划”(ACT计划)中,该计划将新型三维织造设备运用其中,不仅降低了成本,也使复合材料的性能有了很大提升,在NASA的大力支持下,科研工作者突破重重壁垒,对三维织机进行了多项改造,使三维织造设备最终可在航天、汽车、船舶、风力发电等领域广泛应用。同时在ACT计划的积极推动下,美国很多高校也参与到新型复合材料织造设备的研发中,如拉华特大学、德雷克塞尔大学、北卡罗来纳州大学、奥本大学等。与此同时,美国Boeing公司和Atlantic公司均将上千万美元的资金投入到三维织造设备的研究中。另外,其他发达国家如日本、德国、俄罗斯等也将大量的人力物力投入到新型碳纤维三维织造设备的研发中。近年来,德国多尼尔公司推出了用于生产碳纤维、芳纶和玻璃纤维的多尼尔剑杆织机,该设备公称幅宽180cm,最大可用箱宽171cm,最高机械速度180~280r/min。在生产方面,应用了智能化自动控制技术、先进的张力检测技术和互联网技术,这些技术不仅提高了生产效率,也使织物品质有了很大提升。

在经济全球化趋势迅速发展的今天,我国也紧跟科技发展潮流,东华大学、天津工业大学、浙江理工大学以及玻璃纤维研究院都积极地投入到三维织机的研发工作中。

天津工业大学在碳纤维多层角联织物织造设备的研发过程中起步较早,在核心技术和人才培养方面占据着核心优势,研究的三维织造设备最多可织造30层碳