

# 多轴向经编织物编织工艺探讨

顾璐英, 蒋高明

(江南大学, 江苏无锡 214122)

**摘要:** 本文在对多轴向经编织物的生产设备、编织原理等深入研究的基础上, 进一步探讨了多轴向经编织物的编织工艺, 包括常用原料、织物组织、工艺规格等。多轴向经编织物是一种采用高性能纤维作为增强衬纱, 在多轴向经编机铺纬运动和成圈运动的协调配合下, 利用编链、经平或变化经平组织将多层纱线束缚成一个整体的多层织物。多轴向经编织物平行伸直、可调节角度变化的轴向衬纱结构使织物具有多种优异性能, 作为复合材料的骨架材料拥有广阔的应用领域和无限的商业前景。

**关键词:** 经编; 多轴向; 经编机; 编织工艺

**中图分类号:** TS184.3   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1003-0999(2010)03-0076-05

多轴向技术是一种于 20 世纪 70 年代后期在国外迅速发展起来的新型制造技术, 20 世纪 80 年代中期开始成熟, 到 20 世纪 90 年代多轴向技术得到了广泛研究和推广应用。目前多轴向经编技术研究开发较先进的国家有美国、德国、法国、英国、挪威等发达国家, 而我国尚处于起步阶段。多轴向经编织物以其优良的成型性、固有的悬垂性、良好的抗冲击性和能量吸收特性, 以及相对其它纺织增强结构低廉的生产成本和简单的工艺流程, 作为一种理想的三维结构增强材料, 是目前最有效、较经济的预设计增强织物<sup>[1, 2]</sup>, 其产品已应用于航空航天、风力发电叶片、交通运输、建筑等领域。编织工艺是多轴向经编织物能否发挥多种优异性能的前提和基础, 因此对其的研究也就显得尤为重要。本文主要针对多轴向经编织物的编织工艺进行探讨, 为多轴向经编织物的生产提供了一定的理论依据和实践指导。

## 1 多轴向经编织物的生产设备与编织原理

### 1.1 生产设备

#### 1.1.1 卡尔迈耶多轴向经编机

目前, 世界上大多数多轴向经编机主要由德国 Karl Mayer(卡尔迈耶)公司和 Lba(利巴)公司生产<sup>[3]</sup>。卡尔迈耶作为世界上先进经编机械生产商, 其生产的 Malimo Multiaxial 型设备技术含量高, 最高机速可达 1400r/min。该类机型最大机号为 14F(针/25mm), 工作幅宽有三种规格: 40~62 英寸、79~102 英寸、102~132 英寸。

卡尔迈耶机器在生产过程中, 衬经纱和成圈纱

一起经正向传动的送经系统喂给成圈机件, 如图 1 所示, 采用 ST 导纱片(针), 有利于拉紧布面, 也有利于梳理和分开衬经纱, 防止编织时刺伤纤维层。卡尔迈耶机器常采用的铺纬头纹数为 72, 其铺纬纱的角度可在 -45°到 +45°之间变化, 标准配置是六层,  $\pm 45^\circ/0^\circ/90^\circ$ , 一层短切毡(机后喂入), 一层无纺布(机前喂入)。在生产克重较轻, 铺纬角度为  $\pm 45^\circ$  方向的织物时, 卡尔迈耶机器生产的织物布面效果较利巴好, 然而在生产克重较重的织物时, 卡尔迈耶机器对针的损伤较大, 布面质量稍差。在对织物进行剪边时, 由于卡尔迈耶和利巴两机器的铺纬运动的不同, 使得前者的布边损失量较后者多, 约为后者的 1.4 倍。此外, 卡尔迈耶机器在生产碳纤维多层增强织物时使用了带有单纱张力补偿装置的特殊筒子架, 纬纱引入织物时保证纱线平行而几乎无损伤, 张力较均匀, 保证了布面质量<sup>[4]</sup>。

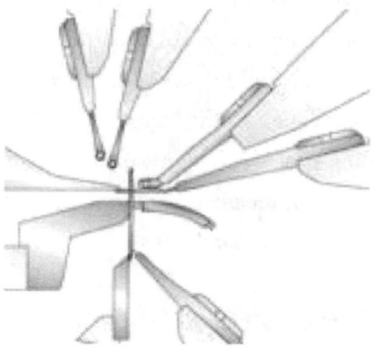


图 1 尔迈耶 Malimo 成圈机件

Fig 1 Looping mechanism of Karl Mayer Malimo

收稿日期: 2009-05-26

作者简介: 顾璐英 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事经编复合材料方面的研究。

### 1.1.2 利巴多轴向经编机

1981年世界上第一台 Copcentra 多轴向经编机在 Liba 问世, 随着技术的进步, 其相关产品已更新换代, 目前使用较为广泛的一种机型是 Copcentra MAX 3 CNC 系列, 如图 2 所示。

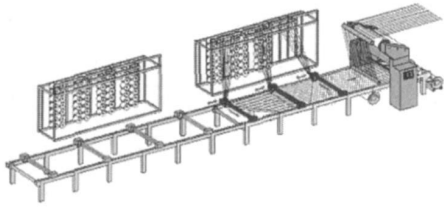
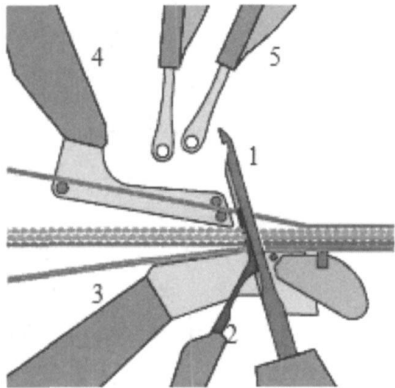


图2 利巴 Copcentra MAX 3 CNC 多轴向经编机

Fig.2 Multi-axial warp-knitted machine of Liba  
Copcentra MAX 3 CNC



1-复合针床 2-针芯 3-沉降片 4-编链板 5-导纱梳栉

图3 Liba Copcentra MAX 3 CNC 成圈机构

Fig.3 Looping mechanism of Liba Copcentra MAX 3 CNC

与卡尔迈耶机速相比, 利巴的最高机速可达 1200r/min, 其机号为 E3~E12 工作幅宽有 50 英寸和 100 英寸两种。利巴 Copcentra MAX 3 CNC 机器的成圈机件 (见图 3) 和卡尔迈耶一样, 都采用 ST 导纱针, 与卡尔迈耶不同的是, 利巴机器采用了独特的移动复合针系统, 移动复合针系统使复合针除了在垂直上下运动外, 还在水平方向 (即织物喂入方向) 运动, 在一定程度上减少了织针对经纬进入编织区域的干扰, 降低了穿刺造成孔洞的可能性, 织物质量有所提高。此外, 由于在编织过程中针与布一起运动, 织针所受的阻力减少, 织针使用寿命延长, 织物生产效率提高, 经济效益好。利巴机器采用三个数字伺服驱动的衬纬系统, 各个衬纬系统可以独立由程序控制, 可以在  $-20^{\circ}$  到  $+20^{\circ}$  之间调整 (见图 4), 角度可调范围大, 无需像卡尔迈耶机器那样进行机

械调节, 变化灵活。该机标准传送架可以生产两个  $45^{\circ}$  衬纬和一个  $90^{\circ}$  衬纬, 也可按需要进行长度延伸, 延伸后的传送架可供七个衬纬使用。此外, 该机的衬纬铺层的上下都配有纤维网传送装置, 可按需要进行选择, 织物品种丰富。

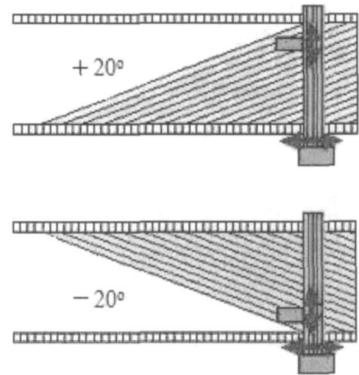


图4 Liba 机器角度变化范围

Fig 4 The angle change range of Liba machine

目前, 利巴公司在 Copcentra MAX 3 CNC 系列机型的基础上, 已成功推出了 Copcentra MAX 5 CNC Carbon 机型, 该机型是一种用于碳纤维生产的新型多轴向经编机, 已获得专利的新型铺层系统能够精确平直地铺放碳纤维, 铺层损伤较少, 可用较低成本生产轻型或重型多轴向衬纬铺层织物 (每层  $80 \sim 300 \text{g/m}^2$ )。

### 1.1.3 润源多轴向经编机

多轴向经编机的生产技术在国内外起步较晚, 20 世纪 90 年代由天津纺织工学院与武进纺织机械厂协作, 研制成功国内第一台圆型多轴向经编机, 但因铺纬层数少、机器结构复杂、生产效率低, 现已被淘汰。2008 年, 我国常州润源经编机械有限公司成功研发了第一台国产智能化控制的“RCD-1 型多轴向经编机”, 该设备集电脑控制的多轴向铺纬技术、多连杆式可移动 (织针坯布随动) 成圈技术、织物恒张力收卷技术、多速电子送经技术等于一体, 它的诞生极大地推动了我国对多轴向生产设备的研发。

润源多轴向经编机常用的工作幅宽有: 50 英寸 (1270mm)、100 英寸 (2540mm), 机号为: E5 E6 E10 E12 等多种型号, 机速最高可达 1000r/min, 其铺纬角度变化范围为  $-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$ , 已接近国外先进铺纬水平<sup>[5]</sup>。在铺纬角度的合成方面, 润源机器与卡尔迈耶多轴向经编机的铺纬运动合成略有不同, 卡尔迈耶是传输链运动和铺纬小车运动两个运动的合成, 而润源多轴向经编机是铺纬滑轨运动、传

输链运动、铺纬小车运动三者的合成,能比较方便地改变铺纬角度。但是,在生产过程中,润源多轴向经编机的动程较卡尔迈耶大,这样使得纬纱的损伤较大,织物布面质量稍差。

我们相信,随着信息社会的不断发展和科学技术的不断进步,新一代的多轴向经编机必将会克服卡尔迈耶、利巴和润源机器的缺点,融合三者的诸多优势,向着更好、更快、更优的方向发展。

## 1.2 编织原理

多轴向经编 (Multiaxial Warp-Knitted, 简称为 MWK) 织物由经纱 ( $0^\circ$ ) 纬纱 ( $90^\circ$ ) 和轴向纱 ( $\theta$ ) 组成, 衬纱角度 ( $\theta$  在  $-20^\circ \sim +20^\circ$  之间变化) 可按织物的用途进行变化。在编织过程中, 用于编织的纱线在成圈机构的作用下, 穿过整个织物, 在厚度方向将所有预先铺设好的承载纱精确地束缚在一起<sup>[6]</sup>, 如图 5 所示。

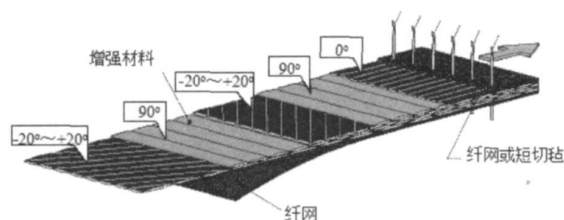


图 5 多轴向经编织物编织原理示意图

Fig 5 Knitting principle schematic diagram of the multiaxial warp knitted fabric

从图 5 中可以看出, 在编织过程中, 可以把纤网和 MWK 织物有效结合起来, 纤网的加入能够控制织物的很多物理性能, 如强度和伸长, 同时也可以改变织物的覆盖系数、密度、透气率、透水率、刚度、厚度和初始抗撕裂阻力, 提高了织物的抗撕裂性能, 减少了织物中纱线的滑移, 使得 MWK 织物和纤网的优点都能体现出来。此外, 在 MWK 织物的生产过程中, 通过束缚纱和承载纱将纤网连结起来, 而不是刚性地胶合在一起, 这就允许 MWK 纤网结构有许多形式, 使设计者拥有更大的设计空间<sup>[7]</sup>。

## 2 多轴向经编织物的编织工艺

### 2.1 原料

经编多轴向织物的原料范围十分广, 衬纱通常采用力学性能良好的高性能纤维, 如玻璃纤维 (GF)、碳纤维 (CF)、Kevlar 纤维、超高分子量聚乙烯纤维 (UHMW-PE) 等<sup>[8]</sup>, 可以是低捻度的柔性短纤纱, 也可以是无捻的高性能长丝。用作增强纱线

时, 一般采用高性能无捻长丝, 有时为了便于织造, 纱线可以稍加捻。纱线一般较粗, 最粗可达约 2500tex。地纱通常采用价格低廉的普通纤维, 纱支一般为 160dtex 左右。如产品沿厚度方向的性能要求较高, 则使用便于成圈的高性能纤维, 如高强涤纶。同时, 单根纱线的密度以及它们的取向角可随载荷的类型而发生变化。

### 2.2 组织

在多轴向织物中, 通常使用的衬纱角度为  $-45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $+45^\circ$  和  $0^\circ$ , 如衬纱角度为  $-45^\circ$ 、 $0^\circ$  和  $+45^\circ$ ;  $-45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $+45^\circ$ , 则可以形成三轴向经编织物。编织纱 (及绑缚系统) 的组织通常采用编链、经平或变化经平 (编链 + 经平)。具体采用何种组织结构, 需根据增强纱线的铺设情况而定。当有  $0^\circ$  衬经纱时, 若采用编链结构, 由于编链组织无针背横移, 将无法有效地把  $0^\circ$  衬经纱固结起来, 此时的绑缚组织则需用到经平组织或变化经平组织。在实际生产中, 变化经平组织是一种最佳组合, 此种组织结构对衬经纱束缚小, 当织物作为复合材料基布进行树脂渗透时, 树脂渗透较快, 有利于复合制品性能的提高。编织纱的存在提高了层间的剪切强度和各个方向上的尺寸稳定性, 将分层的可能性降低到最低, 使第三方向也就是 Z 方向得到了增强。但是编织纱并不是越多越好, 编织纱过多时, 将影响复合成型时树脂的渗入, 使最终产品易出现分层现象。

### 2.3 工艺举例

#### 2.3.1 三轴向经编织物

##### (1) 机器参数

机型: Lba 多轴向经编机; 机号: E6 幅宽: 100"; 带有纬纱衬入系统。

##### (2) 原料

斜向衬纬纱  $-45^\circ$ , 300tex 玻璃纤维纱; 斜向衬纬纱  $+45^\circ$ , 300tex 玻璃纤维纱; 衬经纱  $0^\circ$ , 2400tex 玻璃纤维纱; 编织纱, 167dtex 涤纶。

##### (3) 组织

地组织, 变化经平; 织入顺序,  $-45^\circ/+45^\circ/0^\circ$ 。

##### (4) 织物参数

送经量, 6075mm/rack 织物克重, 1208g/m<sup>2</sup>。

#### 2.3.2 带有纤网的三轴向经编织物

##### (1) 机器参数

机型: Multiaxial 多轴向经编机; 机号: F5 幅宽: 50"; 带有纬纱衬入系统和纤维网衬入装置。

## (2) 原料

斜向衬纬纱 + 45°, 6000dtex 玻璃纤维粗纱; 衬纬纱 90°, 6000dtex 玻璃纤维粗纱; 斜向衬纬纱 - 45°, 6000dtex 玻璃纤维粗纱; 编织纱, 140dtex 涤纶 71Q

## (3) 组织

地组织, 编链;

织入顺序, 纤维网 / + 45° / 90° / - 45° /。

## (4) 织物参数

缝迹长度, 2.5mm; 织物克重, 1130g/m<sup>2</sup>。

# 3 多轴向经编织物的结构与性能

## 3.1 结构特点

多轴向经编织物是一种由编链、经平或变化经平组织将多层衬纱绑缚在一起的多层织物, 最多可达 8 层纱线 (7 层纬纱, 1 层经纱), 再加纤网<sup>[9]</sup>。图 6 所示为一种典型的多轴向经编织物三维结构展示图, 图中绑缚组织为经平组织, 四组衬纱的衬入次序和方向为: 90° / 0° / + 45° / - 45°。多轴向经编织物的结构特点主要有以下几个方面: ①在相同的生产设备上, 衬纱角度、织物密度可进行调整; ②纱线完全平行伸直排列, 各层取向度很高, 具有较好的机械性能; ③增强纱线层最多可以达到 8 层, 织物的整体性较好; ④织物结构较疏松, 可以与纤维网和短切毡结合, 提高了织物结构设计的灵活性; ⑤每个增强纱线层可使用不同的纱线种类, 扩大了织物结构的复合性能<sup>[10]</sup>。

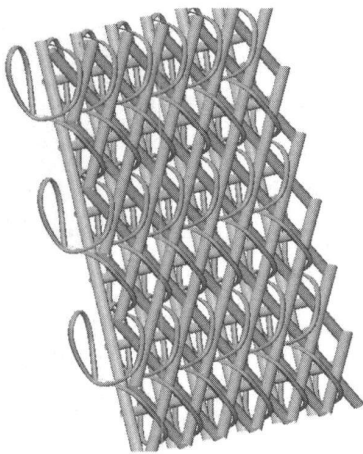


图 6 多轴向经编织物三维结构展示图

Fig 6 Three-dimensional display of the multi-axial warp knitted fabric

## 3.2 多轴向经编织物的性能与应用

由于经编多轴向织物可以在织物的纵向、横向

或是斜向按照使用要求以一定角度平行伸直地衬入纱线, 再用编织纱将其编织成一个整体, 从而克服了铺层结构层间无联系、剪切强度差、易分层的缺陷, 同时也克服了传统机织物纱线屈曲、强力利用率低、纤维损伤大的缺点, 使增强纱线的力学性能得到充分利用<sup>[11]</sup>。此外, 多轴向经编织物还具有较低的生产成本、较高的生产效率, 设计灵活性、铺设性和预成型性好等优点, 在产业应用领域拥有广阔的市场。

多轴向经编织物作为骨架材料与高性能树脂复合后制得的纤维增强复合材料在许多行业中有着非常广泛的应用。早在 1992 年, 这种碳纤维增强复合材料就已经用于空客 A320 上, 与以往使用的金属材料相比较, 使用这种纤维复合材料能使机身重量减轻约 20%。近年来, 除了在航天航空领域, 多轴向经编增强材料还大量应用于造船业中的游艇、舰艇, 沿海或草原中风能发电机组的叶片, 运输业中的火车机车壳体, 车用夹芯板, 建筑业中的雷达天线罩、增强混凝土, 军用工程中的防弹衣和防弹头盔等<sup>[12]</sup>。

# 4 结 语

随着纺织产业的战略转移与产业升级, 产业用纺织品的开发和应用已成为世界各国关注的热点。多轴向经编技术在产业应用领域, 特别是在复合材料领域还是一个相对较新的课题, 在发达国家, 此技术的应用已比较广泛, 在我国则起步较晚, 但是该技术在国内外已引起广泛的重视, 表现出巨大的发展潜力。因此, 对多轴向经编技术, 尤其是对该技术的关键-多轴向经编织物编织工艺的研究, 具有深远的意义。它能在很大程度上提高多轴向经编织物的经济效益, 扩大多轴向经编织物的应用领域, 表现出重要的学术价值和广阔的商业前景。

## 参考文献

- [1] 陈南梁. 我国产业用经编织物发展的广阔前景 [J]. 玻璃纤维, 2007 (2): 34-37.
- [2] 周荣星, 李伟, 陈南梁等. 多轴向经编增强材料性能研究 [J]. 上海纺织科技, 2003 31 (2): 62-63
- [3] 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): 70-71
- [4] 董韵, 李伟. 经编多轴向织物 [J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2006 (1): 56-57.
- [5] 魏光群, 蒋高明. 多轴向经编机铺纬运动对纬纱张力的影响 [J]. 纺织科技进展, 2008 (3): 19-20
- [6] 高金花, 李伟. 多轴向经编针织物增强材料的几何模型 [J]. 东华大学学报, 2008 34 (2): 149-150
- [7] 宋允译, 孙晋良校. 多轴向经编复合材料的工业运用 [J]. 产业

用纺织品, 1998, 16( 97): 38-39.

[ 8] 刘洪政, 陈南梁. 多轴向经编增强柔性复合材料的发展及应用 [ J]. 山东纺织科技, 2007, ( 1): 53-54

[ 9] 蒋高明. 多轴向经编复合材料的开发应用 [ J]. 上海纺织科技, 1996, ( 3): 37-38

[ 10] 邱冠雄, 崔慧杰, 施鸿才. 多轴向经编复合材料研究 [ J]. 纺织学报, 1997, 18( 4): 205-206

[ 11] 周荣星, 陈明珍. 经编多轴向技术及其在复合材料中的应用 [ J]. 武汉纺织工学院学报, 1999, 12( 3): 81-82

[ 12] 吕青, 胡红, 王文祖. 新型产业用针织结构的特点及其应用 [ J]. 产业用纺织品, 2006 ( 6): 40-41.

KNITTING TECHNOLOGY RESEARCH OF MULTI-AXIAL WARP-KNITTED FABRIC

GU Lu-ying JIANG Gaom ing  
( Jiangnan University Wuxi 214122, China)

**Abstract** Based on the production equipment and knitting principle of multi-axial warp-knitted fabric, the article explores the multi-axial warp-knitted knitting technology, including the commonly used raw materials, fabric structure, technical specifications and so on. With the high-performance fiber as its enhancement insertion yarn and chain stitch, tricot stitch or variable tricot stitch tying the multilayer yarn, the multi-axial warp-knitted fabric is a kind of multi-layer textiles, which is formed by the coordination of weft insertion and looping movement. Because of its parallel, straight and adjustable angle axial insertion yarn structure, the multi-axial warp-knitted fabric has much wonderful performance. As the composite material skeleton, it has broad application areas and unlimited commercial prospects.

**Key words** warp-knitted, multiaxial warp-knitted machine, knitting technology

(上接第 55页)

[ 12] 徐延海, 李永生, 黄海波. 表面损伤对全复合材料车用天然气瓶强度的影响 [ J]. 天然气工业, 2008, 28( 1): 132-133.

[ 13] Xu Yanhai Li Yongsheng Huang Habo. Investigation to the Damage Tolerance of Composite Cylinder for Vehicles by Numerical Simulation [ J]. Materials Science Forum, Vols 575-578 ( 2008): 198-203

[ 14] 吴鸿遥. 损伤力学 [ M ]. 北京: 国防工业出版社, 1990.

[ 15] 国庆文, 刘利平, 孙成训. 短纤维复合材料疲劳损伤及寿命预报 [ J]. 黑龙江水专学报, 2001, ( 28) : 60-61.

CALCULATION AND ANALYSIS ON THE SERVICE LIFE-SPAN OF COMPOSITE NATURAL GAS CYLINDER USED FOR VEHICLES

XU Yan-hai LIY ong-sheng HUANG Haibo

( School of Transportation and Automobile Engineering Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract** In this paper, the life-span of composite natural gas cylinder used for vehicles was calculated and analyzed based on the research of the influence on the gas cylinder strength in service. Firstly, the fatigue damage theory was introduced. The prediction of service life-span can be carried out with the application of the fatigue damage theory. Then, with the consideration of surface damage and the influence factors in service, the life-spans of a type of composite natural gas cylinder were calculated and presented. A detailed analysis was carried out with the distribution of service life-span and the calculated results. The procedure of calculating the service life-span and the analysis are useful for the design of composite natural gas cylinder and provide the rules in checking the service cylinders.

**Key words** composite cylinder, fatigue damage theory, service life-span, calculation