

三维编织机的研究现状与发展趋势

徐波

中国电子科技集团公司第三十八研究所，安徽省合肥市，230011；

摘要：三维编织技术作为材料科学与工程领域的一项创新技术，近年来受到了广泛关注。这种技术通过在三维空间内对纤维进行编织，能够生产出具有优异力学性能和复杂形状的复合材料预制品。三维编织机的问世，标志着纺织技术从传统的二维平面编织向立体空间编织的跨越，为高性能复合材料的制造提供了新的途径。

关键词：三维编织机；发展趋势

DOI：10.69979/3041-0673.25.10.030

三维编织技术的发展，得益于航空航天、汽车制造、医疗设备等高端领域对轻质高强材料的迫切需求。与传统的复合材料制备方法相比，三维编织技术具有独特的优势，如能够实现复合材料的净尺寸成型，减少后续加工工序，提高材料的利用效率。此外，三维编织技术还具有良好的设计灵活性，可以根据构件的具体需求，设计出不同结构和性能的复合材料预制品。

随着三维编织技术的不断进步，其在国内外的研究和应用也取得了显著的进展。例如，现阶段以及研发出一种具有可变编织图案的三维编织机^[1]，这表明编织技术正朝着更加智能化和个性化的方向发展。

1 目的

本文旨在对三维编织机进行全面的综述，以期为该领域的研究者和工程技术人员提供参考。通过对三维编织机的基本原理、工作流程、发展现状、应用领域以及未来发展方向的深入分析，本文将揭示三维编织技术在材料科学与工程中的重要地位和应用潜力。

首先，本文将介绍三维编织机的基本原理和工作流程，提供对该技术的基本理解。随后，本文将综述国内外在三维编织机领域的研究进展，分析当前技术的发展趋势和面临的挑战，以期为后续研究指明方向。

此外，本文还将探讨三维编织机在不同领域的应用情况，包括纺织材料生产、纺织品制造以及新材料研究和开发等，以展示三维编织技术的广泛应用和实际效益。

最后，本文将对三维编织机的应用前景进行市场分析和预测，同时讨论技术挑战和市场竞争，提出未来发展方向的建议，以期为三维编织技术的持续创新和发展提供参考。

2 三维编织机的基本原理和工作流程

2.1 编织机的定义和分类

编织机是一种用于生产三维编织复合材料预制品的设备，它通过精确控制纤维的排列和编织路径来形成具有特定结构和性能的材料。三维编织机可以根据其编织方法、机械结构和应用领域进行分类。例如，根据编织方法，三维编织机可分为四步法编织机、二步法编织机和多层联锁编织机等^[2]。

2.2 三维编织机的基本原理

三维编织机的基本原理是通过机械装置控制纤维束或纱线在空间中的运动轨迹，实现纤维在三维空间的交织。这一过程涉及多个移动部件，如携纱器、编织底盘和导向系统，它们协同工作以形成复杂的三维结构。三维编织技术的核心在于精确控制纤维的空间走向，以确保编织出的预制品具有均匀的力学性能和所需的几何形状^[3]。此外，编织过程中的张力控制、编织速度和路径规划也是影响编织质量的关键因素。

2.3 三维编织机的工作流程

三维编织机的工作流程通常包括以下几个步骤：

1. 材料准备：选择合适的纤维材料，并将其加工成适合编织的形态，如纱线或纤维束。

2. 设备设置：根据所需编织预制品的规格和性能要求，设置编织机的各项参数，包括编织模式、张力控制和编织速度等。

3. 编织过程：启动编织机，纤维按照预定的路径在空间中交织，形成三维结构。这一过程需要精确控制以保证编织质量。

4. 质量检测：编织完成后，对预制品进行质量检测，包括尺寸精度、结构完整性和力学性能等。

5. 后续处理：根据应用需求，对编织好的预制件进行后续处理，如切割、修整或与其他材料复合成型。

整个工作流程需要高度的自动化和精确控制，以确保编织出的复合材料预制件满足高性能应用的要求。随着技术的发展，三维编织机的控制系统和编织算法也在不断优化，以提高生产效率和产品质量^[4]。

3 三维编织机的发展现状

3.1 国内外研究进展综述

三维编织技术自 20 世纪 80 年代初在国外开始发展，至今已成为高性能纤维复合材料制造的关键技术之一。国外在三维编织机的研究上起步较早，特别是在航空航天领域，三维编织技术已被广泛应用于复合材料构件的制备。例如，美国 NASA 主持的先进复合材料技术 (ACT) 发展计划，推动了三维编织技术的创新和应用^[5]。此外，德国、法国、俄罗斯等国家也在三维编织技术领域取得了显著进展，开发了多种类型的三维编织设备和工艺^[6]。

国内对三维编织技术的研究起步较晚，但发展迅速。自 20 世纪 80 年代末期以来，我国在三维编织机的研究和开发上取得了一系列成果。天津工业大学等单位在国家资助下，开展了三维编织复合材料的研究工作，成功研制出多种三维编织设备，并开发出多种规则形状异型截面预制件的三维编织技术。此外，国内研究者还开发了三维编织计算机辅助设计软件，实现了工艺设计和编织过程仿真，为三维编织技术的进一步发展奠定了基础。

3.2 三维编织机的发展趋势和挑战

三维编织机的发展趋势主要体现在以下几个方面：

1. 自动化和智能化：随着计算机技术的发展，三维编织机的自动化和智能化水平不断提升，实现了编织过程的精确控制和优化。

2. 多轴向编织技术：为了满足复杂结构复合材料的需求，多轴向编织技术成为研究的热点，能够实现更复杂的纤维路径和结构设计。

3. 高性能纤维的应用：三维编织机正逐渐扩展到高性能纤维，如碳纤维、芳纶纤维等，以满足高端应用领域的性能要求。

4. 环保和节能：在环保和节能的背景下，三维编织机的绿色制造技术也成为研究的重点，力求减少生产过程中的能耗和污染。

然而，三维编织机的发展也面临着一些挑战：

1. 技术复杂性：三维编织机的机械结构和控制系统相对复杂，对设计和制造提出了更高的要求。

2. 成本问题：高性能纤维和高精度设备的成本较高，限制了三维编织技术的广泛应用。

3. 工艺参数优化：编织过程中的张力控制、编织速度等工艺参数对产品质量有重要影响，需要进一步优化以提高生产效率和产品性能。

4. 人才培养：三维编织技术的发展需要跨学科的知识和技能，对人才的培养和引进提出了更高要求。

综上所述，三维编织机作为一种先进的复合材料制造设备，其发展前景广阔，但也面临着技术、成本和人才培养等方面的挑战。未来的研究需要在提高设备性能、降低生产成本、优化工艺参数和加强人才培养等方面进行深入探索。

4 三维编织机在不同领域的应用

4.1 纺织材料生产

三维编织技术在纺织材料生产领域的应用日益广泛。与传统的二维编织相比，三维编织能够提供更加复杂和多样化的织物结构，从而满足特定应用对材料性能的高要求。例如，在高性能运动服、医疗植入物和工业过滤材料的生产中，三维编织技术能够实现更优的力学性能和耐久性。此外，三维编织技术还能够根据设计需求，精确控制纤维的排列和取向，以达到特定的功能性，如透气性、吸湿性和保暖性。

4.2 纺织品制造

在纺织品制造领域，三维编织技术的应用正在逐步替代传统的制造工艺。三维编织机能够直接编织出具有复杂形状和结构的纺织品，减少了裁剪和缝纫等后续加工步骤，提高了生产效率和材料利用率。此外，三维编织技术还能够实现多材料和多结构的一体化编织，为纺织品的创新设计提供了更多可能性。在航空航天领域，三维编织技术被用于制造轻质高强度的复合材料结构件，如飞机机翼和卫星支架。

4.3 新材料研究和开发

三维编织技术在新材料研究和开发中扮演着重要角色。通过三维编织，研究人员能够开发出新型高性能复合材料，这些材料在极端环境下展现出优异的性能，如高温、高压和化学腐蚀等条件^[7]。三维编织技术还能够实现纳米材料和生物材料的编织，为纳米技术和生物

医学领域的发展提供了新的材料解决方案。此外，三维编织技术在智能纺织品的开发中也显示出巨大潜力，如能够集成传感器和执行器的智能服装和医疗保健产品。



三维编织机

5 三维编织机的应用前景

5.1 市场需求分析

三维编织机作为一种先进的纺织设备，其市场需求正随着高性能复合材料在各个领域的广泛应用而不断增长。特别是在航空航天领域，三维编织机制造的复合材料因其轻质、高强度和复杂形状的成型能力而备受青睐。随着新型飞行器和航天器设计的不断进步，对这些高性能材料的需求也在不断提升。

此外，三维编织技术在汽车制造、医疗设备、体育器材以及建筑结构等领域的应用也在不断拓展。例如，在汽车领域，三维编织复合材料被用于制造轻质且强度高的部件，以提高燃油效率和性能^[8]。在医疗领域，三维编织技术被用于开发个性化的植入物和医疗器械，以提高患者的舒适度和治疗效果。

5.2 发展前景预测

三维编织机的发展前景广阔。随着技术的不断成熟和成本效益的提高，预计三维编织机将在更多领域得到应用。特别是在复合材料制造领域，三维编织技术有望进一步替代传统的手工铺层和机械加工方法，实现自动化和智能化生产。

未来，三维编织机的发展趋势可能包括以下几个方面：

1. 技术创新：随着新材料和新工艺的开发，三维编织机将不断优化其编织能力，以适应更多样化的纤维材料和更复杂的编织结构。

2. 智能化：集成先进的传感器和控制系统，实现编

织过程的实时监控和自适应调整，提高生产效率和产品质量。

3. 定制化：满足客户对特定性能和形状的定制需求，提供个性化的解决方案。

4. 环境友好：开发更加环保的生产方式，减少材料浪费和能源消耗，符合可持续发展的要求。

尽管三维编织机的市场需求和发展前景十分乐观，但也面临一些挑战，如技术复杂性、成本控制和市场竞争等。因此，未来的研究和开发需要在提高技术成熟度、降低生产成本和增强市场竞争力等方面进行努力。

6 三维编织机的挑战和未来发展方向

6.1 技术挑战

三维编织机技术在发展过程中面临多项挑战。首先，设备复杂性是一个重要问题，三维编织机的机械结构和控制系统相对复杂，需要精确控制纱线的路径和张力，这对机械设计和自动化技术提出了更高要求。其次，材料兼容性也是一个关键问题，随着新型高性能纤维材料的不断涌现，三维编织机需要适应更多种类的纤维材料，包括但不限于碳纤维、玻璃纤维和芳纶纤维等。此外，工艺参数优化也是技术挑战之一，不同的编织参数如编织速度、纱线张力和编织角度等都会影响到最终产品的性能和质量。

6.2 市场竞争

随着全球对高性能复合材料需求的增加，三维编织机市场吸引了众多企业参与。一方面，价格竞争成为企业竞争的重要手段，降低成本成为提高市场竞争力的关键。另一方面，技术创新也是市场竞争的焦点，企业需要不断研发新技术、新工艺以满足市场对高性能编织机的需求。此外，品牌影响力和售后服务也是企业在市场竞争中需要关注的重要因素。

6.3 发展方向建议

面对技术挑战和市场竞争，三维编织机的未来发展可以从以下几个方面着手：

1. 技术创新：持续投入研发，提高三维编织机的自动化和智能化水平，开发更多适应不同材料和工艺需求的编织设备。

2. 材料适应性：加强与材料供应商的合作，提高编织机对新型纤维材料的适应性，扩大应用范围。

3. 工艺优化：深入研究编织工艺参数对产品质量的

影响，优化工艺流程，提高生产效率和产品一致性。

4. **市场定位：**明确目标市场，根据市场需求提供定制化解决方案，增强市场竞争力。

5. **品牌建设：**加强品牌宣传，提升品牌知名度和影响力，建立良好的企业形象。

6. **服务完善：**提供全面的售后服务和技术支持，增强客户满意度和忠诚度。

参考文献

[1] Jing Li, Yajun Yin, Qing Huang, Gui Yang, Feng Jiang. Three-dimensional braiding machine with variable braiding pattern[J]. The Journal of The Textile Institute, 2023, 116(8): 1-9. DOI: 10.1080/00405000.2023.2276929.

[2] 李静. 三维编织机的研究现状与发展趋势[J]. 纺织科学与研究, 2023.

[3] 李政宁, 陈革, Frank Ko. 三维编织工艺及机械的研究现状与趋势[J]. 玻璃钢/复合材料, 2023.

[4] 杨超群, 王俊勃, 李宗迎, 董红坤, 贺辛亥. 三维编织技术发展现状及展望[J]. 纺织学报, 2023.

[5] 王秋野, 韩琳, 李朋, 等. 三维编织复合材料的发展及应用研究[Z]. 纤维复合材料, 2022, 39(4): 145-149.

[6] 胡芳. 三维编织技术新进展[J]. 非织造布, 2013(5): 94-98.

[7] 肖丽华, 李嘉禄. 三维编织技术在医疗领域的应用. 医疗材料设备, 2019, 25(2): 45-49.

[8] 王俊勃, 李宗迎. 三维编织技术在纺织品制造中的创新应用. 棉纺织技术, 2014, (7): 1-5.