[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2025.06.013

采用机械手的纱线胶液粘结自动连结装置

项博灏，张　敏*，丁家轩，李文轩，刘恒奕，于正晔

（西安工程大学 机电工程学院，陕西 西安　710600）

摘　要：针对纺纱过程中出现断纱或续纱而需要进行纱线打结时，空气捻接法、机械打结法和缠绕打结法存在的成结强度低、纱线直径变化大等问题，笔者设计了一种基于胶液粘结的纱线自动连结装置。运用SolidWorks分别对工作台框架、机械手、喷胶组件和携纱器进行设计，运用ABAQUS软件对机械手大臂等关键支撑零件进行了强度校核；结合3D打印技术制作了工作台框架、机械手等部分配件实物，并进行了装配和调试。试验结果表明：使用该装置能够实现纱线的自动抓取和连结，将胶液涂抹在纱线20 mm长度范围内后进行拉伸试验，纱线胶粘区断裂时所需最小拉力为1.59 N，该装置运行效果良好，成结强度较高。

关　键　词：纺织工业；纱线粘结；机械手；携纱机构；3D打印；ABAQUS软件

中图分类号：TH122　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005-2895(2025)06-0090-05

Automatic Connection Device for Yarn Adhesive Bonding Using Manipulator

XIANG Bohao, ZHANG Min*, DING Jiaxuan, LI Wenxuan, LIU Hengyi, YU Zhengye

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710600, China)

Abstract: Aiming at the problems of inadequate joint strength and significant deviations of yarn diameter in air splicing method, mechanical knotting method and winding knotting method when yarn knotting is needed due to yarn breakage or continuous yarn in spinning process, an automatic connection device for yarn adhesive bonding using a manipulator was designed by the author. SolidWorks software was used to design the framework of work platform, manipulator, glue spraying component and yarn carrying mechanism respectively. The strength of key supporting parts such as the manipulator were checked by ABAQUS software. The 3D printing technology was used to manufacture the accessories including the workbench frame, manipulator and some spare parts and then assembled and debugged. The results show that the device can achieve automatic yarn grasping and connection. The tensile test is carried out after the glue is applied to the yarn in the length range of 20 mm. The minimum tensile force required for the fracture of the yarn adhesive zone is 1.59 N. The device runs well and the knot strength is high.

Keywords: textile industry; yarn bonding; manipulator; yarn carrying mechanism; 3D printing; ABAQUS

在纺纱工业中，经常会出现断纱或续纱的情况，纱线连结自动打结装置是目前纺织行业应用广泛的一种机械装置[1]，能够将纱线进行连结，实现对织物的连续生产。目前，常用的纱线连结方法有机械打结法、空气捻接法、胶液粘结法[2]以及缠绕打结法[3]等。丁彩红等[4]发明了一种用于地毯编织过程中将新、老纱线连接的纱线打结器，实现了纱线打结的自动化。屠佳佳等[5]基于图像识别技术，结合机械式打结机原理，实现了机械式打结机在打结前对纱筒头线、尾线捕获状态的检测。谭嗣宇等[6]设计了一种用于黄麻线的织布结自动打结器，研究了打结器整体结构及其夹持机构、剪切机构和压线机构等主要机构。空气捻接器

收稿日期：2025-07-08；**修回日期**：2025-09-25

基金项目：陕西省大学生创新创业训练计划项目(S202410709070)；陕西省教育厅科研计划项目(24JK0466)；西安工程大学博士科研启动基金(BS202121)。

第一作者简介：项博灏(2004)，男，本科，主要研究方向为纱线自动连结装置设计。**通信作者**：张敏(1991)，女，博士，硕士研究生导师，主要研究方向为金属结构件塑性成形、变形预测与控制、工艺过程仿真与优化。E-mail：zm@xpu.edu.cn

又称为气动捻接器,是以压缩空气为动力,实现纱线的无结头连接[7]。梁艺荧等[8]研究了纱线自动接头工艺原理,对气动捻接器的关键机构进行了分析。Cheng等[9]研究了不同条件下不同种类纱线的捻接强度和捻接效果。上述机械打结法和缠绕打结法成结后可靠度高,但直径变化大,不易于通过携纱器;空气捻接法成结后具有较高的平整度,但成结强度较低。

罗栋胜[10]针对粗纱的自动打结问题,完成了胶液粘接成结机构的机械设计,主要包括压合装置、剪断装置、清理装置和搭线拉线装置。胶液粘结法成结后直径变化小于机械打结法和缠绕打结法,强度优于空气捻接法,且方便快捷[11]。但上述成结机构与胶液粘接装置的衔接需进一步研究。

综上,笔者设计了采用胶液粘结方法的纱线自动连结机械装置,以提高成结纱线的强度。

1　胶液粘结的纱线自动连结装置设计

1.1　总体结构设计

基于胶液粘结的纱线自动连结装置总体结构如图1所示,包括工作台框架、携纱器、喷胶组件和机械手等。其中,工作台框架用于为整个装置提供支撑固定;携纱器用于将纱线引导至机械手的压合组件上;喷胶组件用于为纱线连结提供所需胶水,满足胶液粘结的要求;机械手用于将纱线连结。

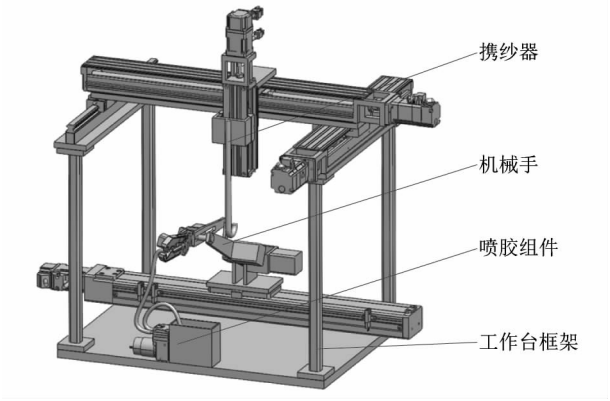

图1　胶液粘结的纱线自动连结装置结构

Figure 1　Structure of automatic yarn connection device bonded by glue

1.2　工作台框架设计

工作台框架为500.0 mm×400.0 mm×395.0 mm的长方体框架,选用不锈钢材料,结构及尺寸如图2所示。机械手与携纱器的导轨安置于框架上,实现纱线连结所需的运动[12]。工作台上放置有胶水盒,胶水盒外尺寸为80.0 mm×40.0 mm×70.0 mm,壁厚为2.5 mm,胶水盒可拆卸,用于储存胶水且便于随时使用。工作台框架底部厚度为15.0 mm,台面上装有供机械手移动的轨道,机械手轨道采用主轴丝杠结构,可使机械手横向移动,实现多位置纱线连结工作。工作台框架上方安置携纱器的导轨。

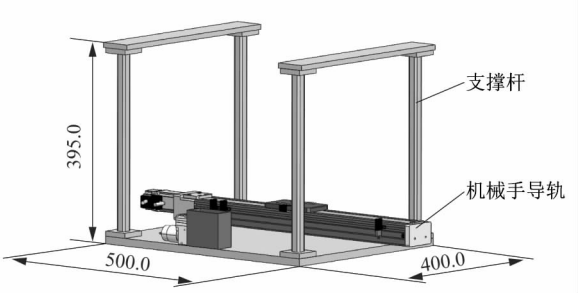

图2　工作台框架结构及尺寸

Figure 2　Workbench frame structure and size

1.3　机械手设计

机械手由压合组件、舵机、手臂、滑块和底座组成,其结构如图3所示。压合组件作为机械手的主体,用于将粘结好的纱线压合,主要包括压合台、压头与传动齿轮。机械手其余零件均为连接元件与辅助元件。类似于夹持装置和齿轮连接舵机,机械手的舵机为压合组件的开合提供动力[13],并且使机械手可自转,实现多角度纱线连结,也方便清理残余胶水。

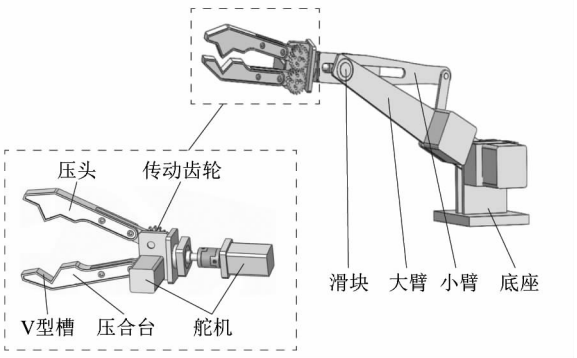

图3　机械手结构

Figure 3　Structure of manipulator

1.4 喷胶组件

工作台上放置 1 个胶水盒，用于储存胶液，由微型隔膜泵通过 1 根软胶管（软胶管末端固定在压合台 V 型槽处）将胶水喷出。胶水盒尺寸如图 4 所示。

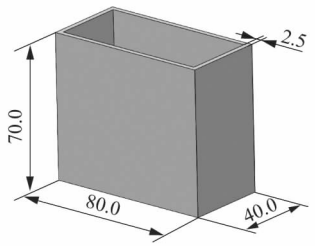

图 4 胶水盒尺寸

Figure 4 Glue container size

1.5 携纱器

携纱器由 U 型槽与导轨等组成，安置于工作台框架上，作用是将需要打结的纱线牵引至机械手的压合组件上。携纱器采用主轴丝杠传动，与电机连接，由电机提供动力。携纱器结构及尺寸如图 5 所示。

U 型槽为弯钩状，安置于基座上；基座为与导轨配合的滑块，可沿 z 向导轨进行 z 轴方向的平移运动。U 型槽的移动由工作台框架上的 3 个主轴丝杠控制，可直接移动至纱线处牵引纱线。

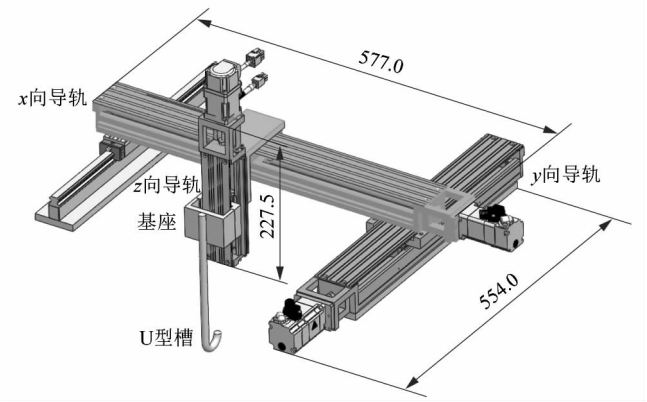

图 5 携纱器结构及尺寸

Figure 5 Structure and size of yarn carrier

2 关键零部件强度校核

工作台支撑杆是自动连结装置的重要组成部分，支撑着机架上方所有的主轴丝杠以及 U 型槽，其承载能力大小对于装置能否顺利携纱有着重要影响，为了检验其设计能否满足现实工作要求，选用 ABAQUS 软件对支撑杆强度进行校核。

机架材料选用 AISI316 不锈钢板[14]。支撑杆采用底部固定约束，4 根支撑杆共同支撑着机架上方的所有主轴丝杠以及携纱器，选择材料后计算上方支撑的零部件的质量以及装置在运行过程中所带来的冲击，对单个支撑杆顶部施加 400 N 的载荷。

工作台支撑杆的强度校核如图 6 所示。从图中可以看出：等效应力主要分布在支撑杆立柱上，最大等效应力为 1.087×10^{-2} MPa，AISI316 不锈钢的屈服强度为 1.724×10^{2} MPa，最大等效应力远小于材料屈服强度；最大变形发生在支撑杆顶端，为 1.485×10^{-5} mm。因此，工作台支撑杆满足力学要求。

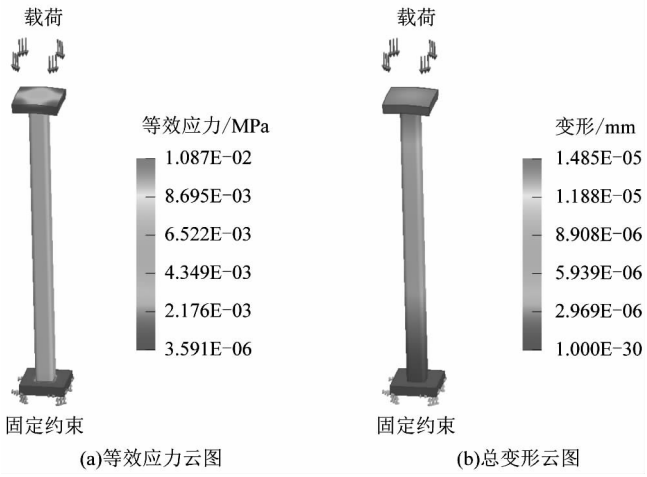

图 6 工作台支撑杆强度校核

Figure 6 Strength verification of workbench support rod

机械手大臂是自动连结装置中控制压合组件运动的组成部分之一，支撑着小臂以及整个压合组件，其承载能力大小对于装置能否顺利携纱有着重要影响。因此采用有限元方法对机械手大臂进行强度校核，在三个螺钉连接处采用固定约束，大臂与滑块连接处施加载荷为 200 N，机械手大臂强度校核如图 7 所示。不考虑固定约束处的应力奇异，最大等效应力位于大臂与滑块连接处，为 1.111×10^{2} MPa；最大变形发生在大臂末端连接滑块处，为 7.446×10^{-1} mm。最大等效应力小于材料的屈服强度，因此机械手大臂满足力学要求。

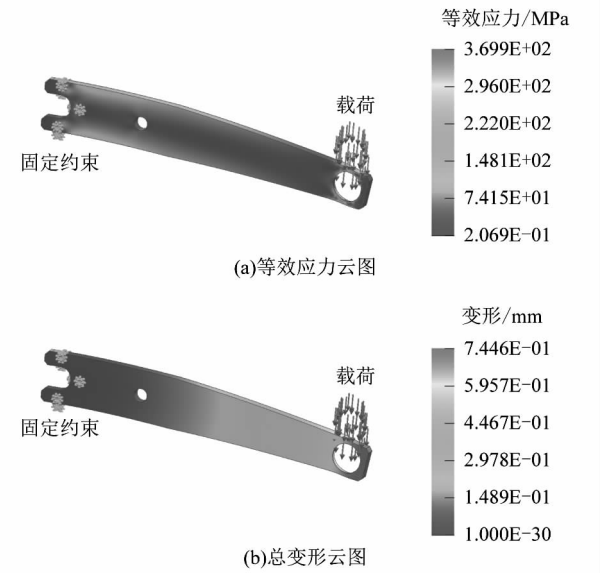

图 7　机械手大臂强度校核

Figure 7　Strength verification of upper arm of manipulator

3　纱线自动连结装置工作过程仿真分析

对该装置进行三维建模,通过仿真分析可得:纱线自动连结装置可正常工作,实现纱线连结作业,机械手可通过相应主轴丝杠实现平移,如图 8 所示;大臂和小臂由电机控制实现上、下摆动,压合组件可正常打开与压合,如图 9 所示;携纱器可通过 3 个主轴丝杠的组合实现 x,y 和 z 方向的平移,顺利携纱。

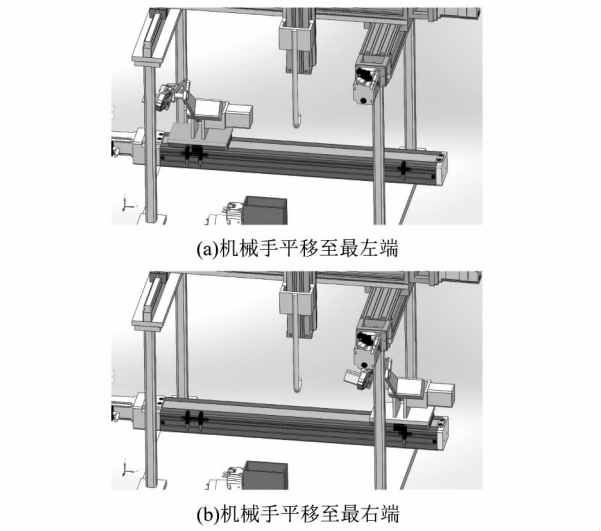

图 8　机械手平移仿真

Figure 8　Translation simulation of manipulator

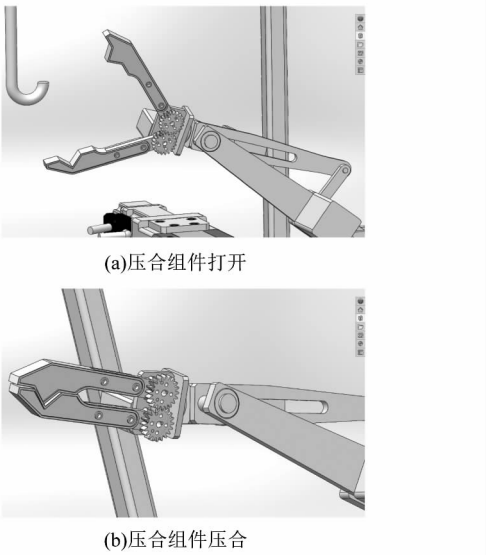

图 9　压合组件打开与压合仿真

Figure 9　Simulation of pressing component opening and pressing

4　试验验证

运用 3D 打印技术制作了工作台框架、机械手等部分配件实物,装配了如图 10 所示的纱线胶液粘结自动连结装置实物,并进行了调试。为验证粘结效果,利用装置对线密度为 22 g/km 的玻璃纤维纱进行粘结,将胶液涂抹在纱线的 20 mm 长度范围内,然后对所得制品在万能试验机上进行单向拉伸试验,纱线胶粘区断裂时所需最小拉力为 1.59 N。

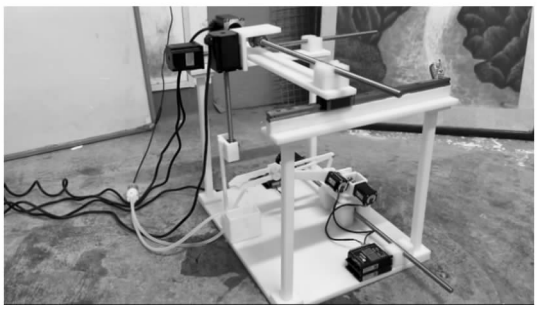

图 10　纱线胶液粘结自动连结装置实物

Figure 10　Physical object of automatic connection device for yarn glue bonding

5　结论

为解决断纱或续纱时纱线连结过程中存在的成结

(下转第 101 页)