

悬浮式驱动织针系统的高效编织模式研究

朱里, 吴晓光, 孙盼, 张弛

(武汉纺织大学 机械工程与自动化学院, 湖北 武汉 430073)

摘要:基于课题组前期开展的悬浮式驱动织针理论及织针动态特性研究以及悬浮式驱动系统, 为了大幅度提高编织效率, 降低针织机能耗, 深入研究悬浮式织针的运动机理, 分析织针的最高工作频率及高效工作模式, 以实现传统机械编织工艺的彻底取代。从运动模型和工作频率上分析悬浮式织针3工位工作, 测量悬浮式织针的工作频率, 给出各种电磁激励下织针运动的机械频率, 测试最高激励频率下织针的机械运动, 计算针织提花圆机的悬浮编织效率。结果表明, 在电磁-永磁混合驱动模型下, 悬浮织针3工位高速编织, 编织效率可达18.500 Hz, 比传统机械编织工艺提高一倍以上, 完全可以取代传统顶针机械编织工艺。

关键词:悬浮式驱动织针; 永磁-电磁混合驱动; 电子激励; 3工位机械频率; 永磁织针; 织针运动轨迹; 编织模式

中图分类号: TS 183.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-4033(2019)07-0017-05

Study of Highly Efficient Knitting Mode of Suspension Driven Knitting Needle System

Zhu Li, Wu Xiaoguang, Sun Pan, Zhang Chi

(School of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430073, China)

Abstract: In order to greatly improve the knitting efficiency and reduce the knitting machine's energy consumption, and based on the research of suspension-driven knitting needle theory and dynamic characteristics of knitting needle and suspension-driven knitting system carried out earlier by the research group, the motion mechanism of suspension knitting needle is deeply studied, and the highest working frequency and highly efficient working mode of the knitting needle are analyzed, so as to completely replace the traditional mechanical knitting process. This paper analyses the 3-position work of suspension knitting needle from the motion model and working frequency, measures the working frequency of suspension knitting needle, gives the mechanical frequency of the motion of the knitting needle under various electromagnetic excitations, tests the mechanical motion of the knitting needle under the highest driving frequency, and calculates the suspension knitting efficiency of the knitting jacquard circular machine. The results show that the efficiency of suspension knitting needle can reach 18.5 Hz in 3-position under electromagnetic-permanent magnet hybrid driving model, which is more than double that of traditional mechanical knitting technology, and can completely replace the traditional needle lifting knitting technology.

Key words: Suspension Driving Knitting Needle; Driven by Mixed Electromagnetic and Permanent Magnet; Electronic Excitation; Triple Working Position Mechanics Frequency; Permanent Magnet Knitting Needle; Motion Track of Knitting Needle; Knitting Pattern

本课题组前期已深入研究了高速悬浮式织针驱动系统及提花机应用课题, 针对传统机械编织工

艺, 在前期已发表的论文中, 研究了磁悬浮式驱动织针装置理论, 介绍了磁悬浮式驱动织针的原理, 研

究并探讨了悬浮式织针驱动方式及理论, 初步建立了磁悬浮织针编织的基本驱动模型, 对悬浮装置的

基金项目:国家自然科学基金(51175384); 湖北省自然科学基金(2011CDB216); 湖北省自然科学基金重点项目(2014CFA099)。

作者简介:朱里(1977—), 男, 讲师, 博士。主要从事机械设计制造及自动化研究。

织针在运动过程中的摩擦热和电磁热进行了分析研究^[1-8]。同时,利用 Inventor 软件完成了多悬浮式驱动织针的运动轨迹仿真,对圆纬机中织针的运动规律进行了分析与研究,并建立了单磁悬浮式驱动织针的运动模型,获得了织针的运动方程,并在此基础上利用 Matlab 软件分析获得了织针在运动过程中时间与位移、速度、加速度及驱动电流之间关系的仿真曲线,为磁悬浮式驱动织针理论的可行性应用提供了重要依据和参考。

本文基于前期已经取得的研究成果,从电磁-永磁的基本理论关系出发,针对已经设计的工作模型平台,利用电磁-永磁混合式驱动方法^[9-11],控制永磁织针高速功位位移,在织针运动轨迹基础上对悬浮式驱动织针的运动规律进行讨论完善,测试悬浮式织针的工作频率,验证新型编织模型高效性,以彻底取代传统机械编织模式。

1 悬浮式织针的工作轨迹

磁悬浮式驱动方式通过电磁力直接驱动织针做上下往复运动从而实现编织,编织时间在整个工作过程中可控,基于程序给定织针成圈和集圈的时间,实现成圈上升阶段时间为 7 ms,成圈阶段径向悬浮时间为 2 ms,成圈下降阶段时间为 6 ms;集圈上升阶段时间为 4 ms,集圈阶段径向悬浮时间为 2 ms,集圈下降阶段时间为 5 ms。织针在成圈、集圈编织过程中均有 2 ms 的径向静止时间用来钩住纱线。整个试验过程中,成圈、集圈、浮线的功位时间可控。悬浮式驱动织针的工作轨迹如图 1 所示。

织针的运动由电磁线圈的驱动电流控制,在成圈或集圈工作时,电磁线圈通入电流,永磁织针瞬间受力,织针的加速度瞬间加

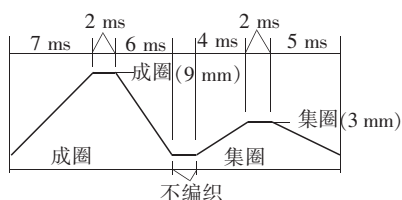


图 1 混合悬浮式驱动织针运动轨迹

载。织针在上升成圈过程中,由于电磁力实时变化,变加速过程编织在每一点受到的电磁力都不一样,即每一点的加速度都不一样;同时,在上升过程中,随着间隙的增大,电磁力将越来越小,到达一定位置后电磁力小于磁悬浮织针自身重力,基于惯性实现减减速上升,最终在最高点停止,实现成圈编织动作。因此,织针上升成圈过程分为减加速和减减速两个过程,最终到达最高点,速度为 0。

针对时间进行微元细分,求解每一时刻,包括当前点的受力、加速度、速度以及此时到达的位移,并给出下一时刻的加速度,分析下一时刻的加速度、速度,计算下一时刻的位移,将求解的每个时间微元进行积分综合,得到最后到达的高度及所需的时间。

在下降阶段,由于永磁织针与电磁线圈之间的距离减小,电磁力越来越大,加速度也越来越大,速度也越来越快,形成快速下降过程。综合成圈过程中总的工作轨迹,可得到整个过程中的加速度、速度、位移变化曲线,形成完整的成圈和集圈功位轨迹。

对织针编织时所有阶段的运

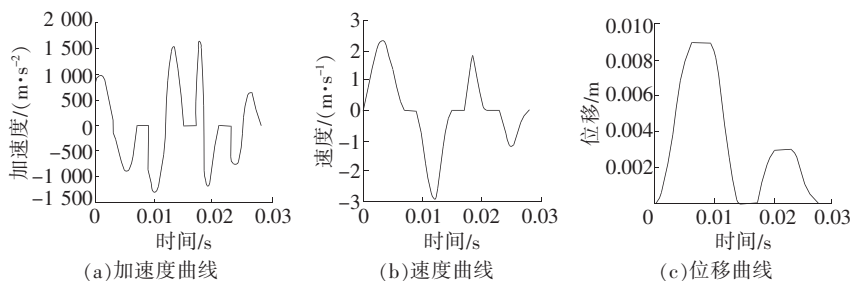


图 2 织针成圈和集圈过程中的运动规律

动轨迹进行综合分析,得到织针成圈过程中总运动规律,如图 2 所示。

图 1 与图 2 中混合悬浮式驱动织针的运动轨迹曲线相似,电磁-永磁驱动方式所模拟混合悬浮式驱动织针的运动轨迹是可行的。

根据上述织针的运动规律,调节电磁线圈的电流,使织针按照指定轨迹运动,实现预期编织效果。

2 悬浮式织针高效编织工作频率

悬浮式织针驱动平台仅仅完成工作轨迹的编织和模拟是不够的,要想完全取代传统编织工艺需要测试悬浮式织针的编织效率,验证悬浮式驱动各方面是否达到或超越传统织机的水平。衡量一台提花机的生产效率主要是衡量其选针机构的效率,而选针机构的效率又主要由选针器选针刀的摆动频率来衡量,选针刀的频率越高则生产效率越高(在不考虑针筒转速的前提下),悬浮式织针装置以织针的动作频率为标准衡量织机的效率。悬浮式驱动织针控制器的织针推力为 3~5 cN,织针动作频率提高了 6~10 倍,织针功位上下运动,织机的编织效率从 8.000 Hz 左右提高到 18.500 Hz。

为了便于测试永磁织针的编织效率,悬浮式织针驱动平台基于 L298 驱动芯片控制电磁-永磁激励。L298 驱动芯片是一种高电压、大电流电动机驱动芯片,最高工作电压可达 46 V,瞬间峰值电流可达 3 A,输出正反向电流,驱动直流电

动机和电磁线圈等感性负载。L298 驱动芯片的真值表见表 1。

表 1 L298 驱动芯片真值表

IN1	IN2	ENA	电磁线圈状态
×	×	0	停止
1	0	1	正向驱动
0	1	1	反向驱动

基于 L298 驱动芯片测试模块的织针动作频率测试模拟如图 3 所示。



图 3 基于 L298 驱动芯片简化方案测试织针机械运动频率

L298 驱动芯片测试模块直接作用于电磁线圈,在电流正向和反向工作下驱动电磁线圈对织针的吸力和斥力作用,使织针往复上升和下降,完成编织动作。

模拟控制流程如图 4 所示,其中 CPU 以中断定时方式进行 IN 信号线控制,单位定时时间内分别给出正向信号和反向信号,对应织针上升运动和下降运动,测试编织效果和织针运动频率。

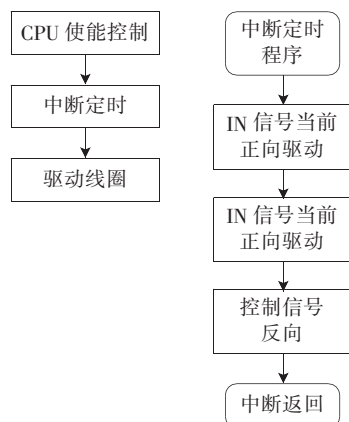


图 4 悬浮式织针机械运动频率测试流程图

MCU 系统控制 L298 驱动芯片模块输出电流的正反向,正向输出时,驱动电流使永磁织针完成向上的成圈功位编织;反向输出时,

驱动电流使永磁织针从编织功位迅速回到初始位置,往复运动,实现高速编织和全程可控。

3 织针工作中的机械频率测试

3.1 测试方法

改变织针频率,在 MCU 控制芯片程序中针对 L298 驱动芯片设置不同高低电平时间以及织针上升、下降的保持时间,测试每次工作的周期,基于成圈高度的光电传感器验证频率测试效果,寻找悬浮式织针可能的最高机械运动频率。

3.2 结果与分析

几种典型测试激励信号下悬浮式织针的运动频率见表 2,不同频率下悬浮式织针机械运动测试的衍生图如图 5 所示。

在典型的电子激励频率下,针对悬浮式织针的机械运动频率,对示波器两路同时进行测试,一路测试 L298 驱动芯片的输出频率,一路测试织针的实际机械频率,上升行程时,电磁线圈驱动织针机械运动比 L298 驱动芯片电控信号晚 10~15 ms。

织针在编织过程中要经历上升、高位保持、下降、底部保持 4 个阶段,当基于 MCU 的 L298 驱动芯片已给出低电平时,织针还存在上升、保持再下降过程,过程时间长,说明织针由于自身特点机械运动需耗时完成,反应比电子信号要晚。

电子激励给出的最高频率为 18.500 Hz 左右(见表 2 第 7 组测试数据),若电子频率更高,则机械频率已经跟不上单片机电子信号频率,导致工作开始紊乱,如图 5h 所示。因此,在当前电磁-永磁驱动工作平台下,驱动织针的最高频率为 18.500 Hz,接近 20.000 Hz,与传统机械频率相比,悬浮式织针驱动方式大幅提高了编织效率,编织频率能提高一倍以上。但是,悬浮

式驱动也不能一味只提高机械频率而不考虑工作稳定性,试验同时证明,由于电磁线圈中没有增加磁介质,导致驱动力较小,实际工作中有可能在纱线抖动得很厉害时不能完成功位的初始位置返回。因此,下一步工作需要在电磁线圈中增加电磁介质,以实现高速稳定编织。

3.3 结论

机械动作频率和电子频率没有发生紊乱时,织针在成圈工作中要经历从最底部到最顶部、保持从最顶部到最底部过程,电磁线圈驱动织针上升比电控信号要晚 10 ms 左右(这个数值基本固定)。织针实际机械运动过程比由电子激励的输出晚 30 ms 左右,如图 6 所示。

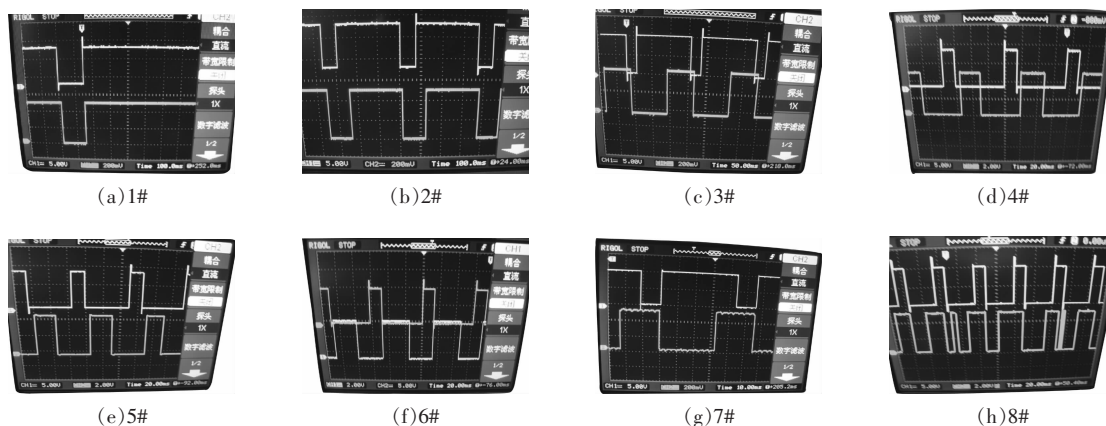
由图 6 可知,在实际工作中,织针在离开最低点(即在空中悬浮的这段时间)的时间至少是(30~50 ms)+最高点稳定时间。类似于香农定律,如果电控频率过高,则机械运动的一个周期还没完成马上又来第二个电控信号,将跟不上信号输出频率,导致不合拍,工作发生紊乱,无法实现正常的上升和下降。从试验结果中发现,织针的最快频率在 $1\ 000/54=18.500$ Hz 左右(此频率下,在成圈最高处安装传感器,织针达到最高点位置,传感器周期检测到信号),如果频率更快织针就会发生工作上的紊乱和频率不合拍。

试验发现,如果减少织针上升到最高点的静止时间,增加下降到最低点的保持时间,则可以使频率提高,但是会同时带来一个问题,即织针没有上升到成圈的最高位置(9 mm)。上升成圈阶段的高电平时间很短,织针来不及到达最高位置又要下降,不能达到成圈高度。

从上述实践中还发现,如果 MCU 控制器给出的成圈上升阶段

表 2 织针工作过程中机械频率测试结果

序号	程序设置的高电平时间/ms	程序设置的低电平时间/ms	示波器测量的悬浮式织针的机械运动频率	传感器模块在工位位置实际测得的织针工作时的机械频率
1	100	500	L298 驱动芯片的输出周期为 880 ms, 频率约为 1.136 Hz	880 ms, 频率约为 1.136 Hz, 测试效果如图 5a 所示。图 5a 中, 黄色波形为单片机输出信号, 蓝色波形为织针实际工作中的机械频率。可以看到, 在这种工作频率下, 织针实际工作频率与单片机输出信号频率基本相符, 两者相差约 11 ms, 即电磁线圈的机械驱动比 L298 驱动芯片的信号约晚 11 ms
2	50	200	L298 驱动芯片的输出周期为 370 ms, 频率约为 2.700 Hz	如图 5b 所示, 织针实际工作中的机械频率为 370 ms, 但实际的织针频率比 L298 驱动芯片的输出约晚 11 ms, 而且机械动作比 L298 驱动芯片延迟 50 ms
3	10	200	L298 驱动芯片的输出频率为 3.300 Hz	织针实际工作时的机械频率与 L298 驱动芯片的输出频率一致, 织针上升时的机械周期比 L298 驱动芯片晚 10 ms, 下降时比 L298 驱动芯片的输出约晚 40 ms, 同时织针没有到达最高点, 如图 5c 所示。减少在最高点的保持时间, 单片机只给出 10 ms 的保持时间, 虽然这种情况下悬浮段的延时减小, 但由于织针在最高点的维持时间太短, 因此织针没有到达最高点位置
4	15	60	基于定时, 严格给定上升的保持时间为 15 ms, 下降保持时间为 60 ms, 周期为 75 ms	织针机械运动落后电信号 24 ms, 如图 5d 所示。织针在空中最高位置的延时约为 30 ms。最高点位置放置一个传感器, 最低点位置放置一个传感器, 测试织针的上升行程时间, 图片显示上升行程时间为 6~8 ms
5	15	50	基于定时, 严格给定上升的保持时间为 15 ms, 下降保持时间为 50 ms, 周期为 65 ms	机械频率为 15.380 Hz, 工作有突然失稳的情况, 但总的工作情况仍然稳定, 从示波器来看, 机械频率和电信号频率依然合拍。织针机械运动落后电信号为 24~25 ms, 如图 5e 所示, 织针在最高位置的延时为 28 ms 左右
6	14	48	定时给定上升的保持时间为 14 ms, 下降保持时间为 48 ms, 周期严格为 62 ms	机械频率为 16.000 Hz。织针大部分时间工作稳定, 个别时间有瞬时停滞现象。此部分测试时, 蓝色为电子信号, 黄色为机械频率。如图 5f 所示, 织针机械运动落后电信号 20 ms 左右, 织针在最高点的迟滞为 32 ms
7	8	30	织针工作稳定, 工作时间为 54 ms, 工作频率为 18.500 Hz	如图 5g 所示, 悬浮时间段的时间滞后延长, 比电控信号输出要延后近 32 ms。通过在最高点放置传感器测试, 织针可以到达最高位置。但装置使针筒有不稳定的抖动。从图 5g 中可以看出, 悬浮时间段仍有 10 ms 余量, 有可能再利用这段余量使织针频率加快
8	9	24	工作时间为 50 ms, 频率约为 20.000 Hz	频率约为 30.000 Hz, 工作不平稳, 该情况下反而耗时更多, 这是由于机械频率已经跟不上单片机电子信号频率, 导致工作开始紊乱, 如图 5h 所示



注: (f) 中上方曲线为蓝色, 下方曲线为黄色; 其余图均是上方曲线为黄色, 下方曲线为蓝色。

图 5 不同频率下悬浮式织针机械运动测试衍生图

给定时间较长, 总体编织效果稳定, 但如果成圈上升阶段的时间过长, 则下降阶段的时间也必须很

长, 否则织针无法稳定工作, 这必然导致总工作周期延长、频率下降, 失去了实际工作意义。相反, 如

MCU 给定的电子频率过高, 期望织针进行高频工作, 实践中会带来两个问题: 高电平给定时间较短,

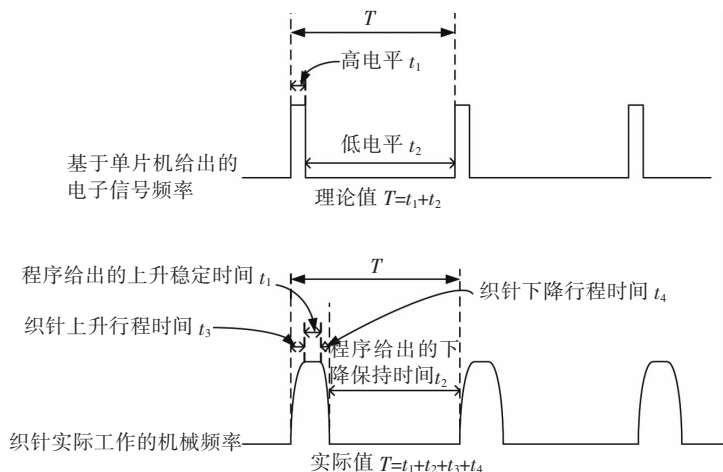


图6 机械工作频率与电子信号频率差值示例

织针到达不了最高位置;高电平给定时间较长,相应低电平时间较短,织针发生抖动,下降不到最低点。

4 结束语

经多次试验发现,当电子激励频率给定 18.500 Hz 时,织针编织效率较高,同时工位工作稳定,可以实现与电子频率的同步。下一步需要在电磁线圈中增加磁介质,促使悬浮式织针既能稳定工作,又能实现高效、高速、精确编织,这将是本课题组后续针对悬浮式驱动织

针的研究重点。

参考文献

- [1]黄振,吴晓光,李爽,等.磁悬浮驱动方式的新型织针提花圆纬机控制系统的研究[J].武汉纺织大学学报,2012,25(6):19-23.
- [2]吴晓光,张弛,朱里,等.磁悬浮驱动织针的控制算法与试验过程研究[J].针织工业,2013(11):18-22.
- [3]吴晓光,黄振,朱里,等.磁悬浮式驱动织针的原理及结构设计[J].针织工业,2012(6):10-13.
- [4]吴晓光,张弛,朱里,等.磁悬浮式

动织针热传导的研究与分析[J].针织工业,2012(12):7-10.

[5]吴晓光,孔令学,朱里,等.磁悬浮式织针提花驱动方式理论研究与探讨[J].纺织学报,2012,33(10):128-133.

[6]杨斌堂,徐彭有,孟光,等.大行程精密定位超磁致伸缩驱动器的设计与控制[J].机械工程学报,2012,48(1):25-31.

[7]朱文斌,吴晓光,张弛,等.悬浮式提花织针驱动模型的建立及结构研究[J].针织工业,2011(6):1-4.

[8]吴晓光,张弛,朱里,等.磁悬浮式驱动织针原理与试验方法探讨[J].针织工业,2014(6):10-13.

[9]段吉安,齐斌,廖平.新型磁悬浮运动平台力学分析与控制[J].控制工程,2009,16(2):151-158.

[10]齐洪喜,黄平林,赵立忠.永磁偏置磁悬浮轴承功率放大器的设计与实现[J].武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2010,32(2):245-248.

[11]李群明,万梁,段吉安.磁悬浮平台的机电耦合动力学模型及稳定性分析[J].光学精密工程,2007,15(4):535-542.

收稿日期 2019年1月11日

信息直通车

欢迎订阅《针织工业》

《针织工业》是国家新闻出版广电总局批准的国内外公开发行的针织专业科技期刊,创刊于1973年,由天津市针织技术研究所、中国纺织信息中心联合主办,由全国针织科技信息中心出版发行。

《针织工业》,全国中文核心期刊,曾多次获得部、市级奖励,现已入编《中国学术期刊网络出版总库》、《CN-KI 系列数据库》(已开通优先数字出版)、《中国核心期刊(遴选)数据库》等,在国内外具有广泛影响。

《针织工业》主要报道针织行业前沿科技成果与加工实践经验,推广针织、染整及成衣工艺方面的新技术、新工艺,在学术性、创新性、前瞻性方面,质量水平极高,具有深远的学术影响力。同时,依托广大院校教授、重点企业资深专家等的支持,《针织工业》每年举办多个技术交流会议和高端论坛,有效助力科技成果的转化与应用,推动行业技术的传播与进步,促进针织产业的转型升级,贴近行业,服务行业,具有广泛的行业影响力。

《针织工业》为月刊,大16开,全部进口铜版纸精印,国内外公开发行。国际标准刊号 ISSN 1000-4033,国内统一刊号 CN 12-1119/TS,广告经营许可证号 1201044000113。邮发代号 6-24,国内定价 15 元/期,全年 12 期,共计 180 元(含邮费)。读者可在当地邮局订阅,亦可向编辑部直接订阅。

地址:天津市南开区鹊桥路 25 号(300193)

电话:022-27385020 27380390-8116

传真:022-27384456

E-mail: 1809892641@qq.com

zzgy1973@163.com

购书网店: <https://zhenzhishuwu.taobao.com>

