

磁悬浮式驱动织针的原理及结构设计

吴晓光,黄振,朱里,李爽,郭超,宋小宁

(武汉纺织大学 机械与自动化学院,湖北 武汉 430074)

摘要:在传统的针织机选针提花原理基础上,提出了电磁—永磁悬浮的新型悬浮织针模式,并将其引入选针机构,提出了轴向磁悬浮式织针驱动理论。该理论的核心是将电磁力直接作用在织针上,从而实现了从传统的多级传动到零传动模式的织针驱动原理。详细论述磁悬浮式织针模型运动分析和磁悬浮式织针装置结构设计,为进一步研究新型针织机的选针驱动原理提出一种参考。

关键词:提花圆纬机;磁悬浮;驱动织针;受力分析;原理设计;织针结构

中图分类号:TS 183.4+1

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2012)06-0010-04

迄今为止,在国内外针织提花驱动器关键技术中,驱动织针以 PTC 材料(正温度系数热敏材料)的双晶片作为换能驱动器件,这种压电式选针具有抗干扰能力强、发热量小、固有频率高、不产生有害振颤和不受电磁干扰等优点。但随着织机负荷的增加,压电双晶片陶瓷片间的界面会产生较大的应力 and 应变,导致器件的失效。另外,黏结胶层在低温下会发生裂纹、高温下产生蠕变及剥落,导致双晶片的电场诱导位移特性降低,器件的寿命缩短,影响选针器的可靠性、稳定性和一致性,制约了织机速度的进一步提高。

本文针对驱动织针的关键技

术,提出在电磁—永磁悬浮模式下的磁悬浮式驱动织针原理,从而探讨新型磁悬浮式驱动织针的原理及结构设计。

1 传统织针驱动理论分析

1.1 织针运动轨迹

在针织提花圆纬机中,织针的运动轨迹由织针所在的三角轨道决定,也就是说,无论织针随针筒运转的速度有多快,织针运动轨

迹的形状都不变。织针运动轨迹有 3 种,分别对应织针的 3 个编织动作——成圈、集圈和浮线。其中,成圈时织针运动在最高位;集圈时,织针在低位;浮线时,织针在竖直方向是不运动的,只随着针筒转动。如图 1 所示为织针编织动作轨迹,其中,成圈的轨迹为 1~6,集圈的轨迹为 7~10,而浮线的轨迹为 11~12。

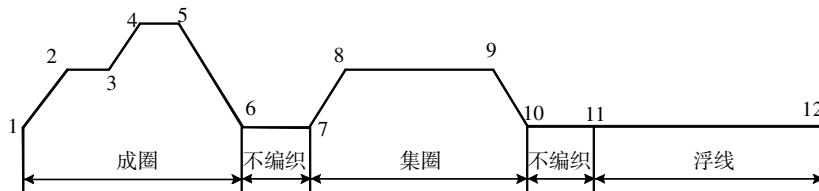


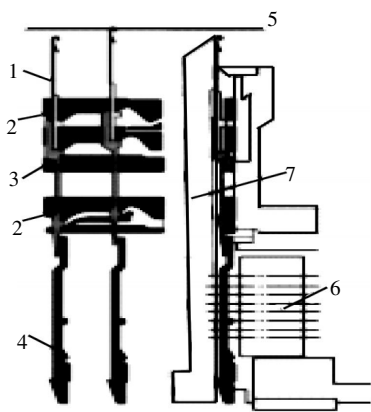
图 1 织针编织动作轨迹

基金项目:国家自然科学基金;高速磁悬浮式驱动织针机理研究在提花机上的应用(51175384);湖北省自然科学基金(2011CDB216);湖北省数字化纺织装备重点实验室(DTL200904)

作者简介:吴晓光(1954—),男,教授。主要从事数字化纺织装备及关键技术的研究工作。

1.2 电子选针器原理

如图2所示,选针器推动提花片齿(点划线位置),提花片因此而被推动发生前后倾斜,使得挺针片的片踵进入三角轨道或者脱离三角轨道。当挺针片进入三角轨道时,织针被挺针片顶起上升,参与编织过程;否则,织针不上升,不参与编织。显然,织机的编织速度取决于三角挺起织针做上下往复运动的频率以及选针器选针动作的频率。因此,要在目前针织机原理上进一步提高针织机速度和编织效率,首先要解决三角、织针及选针器内部复杂的传动机构优化问题^[1]。



1.织针;2.三角;3.挺针片;4.提花片;
5.纱线;6.选针器;7.针筒。

图2 选针机构示意图

1.3 针织机性能指标提升方法

目前国内外对针织机性能的提升从以下两个方面实现:一是采用性能更稳定的压电陶瓷电子选针器^[1];二是研究织针关键零部件材料特性,采用新材料或提高材料的耐磨性,改进织针热处理工艺或对织针外形细节进行改进设计^[2]。据国内外针织提花机现状及发展趋势的分析,其性能提升的重点集中在对现有针织装备实现工艺技术的创新上。

因而采用新的针织机驱动原理,去研究新的针织技术原理,将为解决未来针织机提出的高性能

指标提供了可能性。

2 磁悬浮式驱动织针原理的研究

磁悬浮技术的突出特点是物体或零件之间无接触、无需中间支撑介质、可控制、受力分布均匀等^[3],尤其对精密器件运动的高速、无摩擦提供了一种理论与技术研究的平台。

2.1 受力分析

在传统选针机构中,织针的运动受到与三角有关力的影响,如摩擦力、轨道的侧向力和纱线的拉力。这些力都会消耗能量,而其中摩擦力所占的能耗最大,约占整机能耗的30%,而由摩擦力所产生的热量也较大,这些都影响到了织针的寿命、针织物的质量和生产效率。

磁悬浮式驱动织针装置是将电磁装置产生的电磁力通过永磁体直接作用于织针上,省去了中间的多级传动环节,实现了零传动。这种传动方式不仅简化了机器结构,更重要的是减少了不必要的能量消耗。如图3所示为磁悬浮式织针在工作时的受力分析图。织针在下降时受到电磁力、织针重力、纱线拉力及摩擦力的作用,织针在上升时受到电磁力、织针重力及摩擦力的作用。纱线的拉力为3~5 cN,织针的重力为0.8 cN左右,经过计算摩擦力,大小为0.02 cN左右,相对于传统多级传动模式中的近10 cN的摩擦力,这里几乎可以不考虑摩擦力的影响,而且由摩擦力产生的热量是传统形式的2%左右^[4]。

分析图3可得织针在两种状态下的动力学方程,其中,织针在下降阶段时,受力的方向如图3a所示,各个力之间的计算见式(1)。织针在上升阶段时,受力的方向如图3b所示,各个力之间的计算见式(2)。

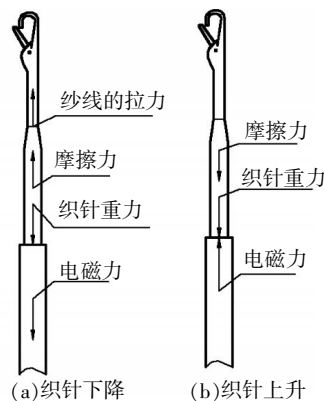


图3 织针受力示意图

$$F_1 - (F_2 + F_f + G) = ma \quad (1)$$

$$F_1 - (G + F_f) = ma \quad (2)$$

式中: m 为织针的质量, g 、 a 为织针运动时的加速度, m/s^2 ; F_1 为电磁力, N ; F_2 为纱线的拉力, cN ; F_f 为摩擦力, N ; G 为织针重力, N 。

2.2 频率分析

以SDGJ-372电脑提花机中的八级选针装置为例,该提花机中共有2 256根织针,每8根织针为一组,有72路纱线,即有72套选针器及三角(凸轮)等选针机构。提花机采用的是八段压电陶瓷选针器,其最高动作频率为100 Hz,即也是选针刀的动作频率。假设针筒转速为15 r/min,即每秒1/4转,可计算出如下结果:

针筒转速为1/4(r/s),即90°/s;

2 256根织针可分为282组;

每组织针在针筒上所占的角度为1.28°;

频率为 $1\,000 \div (1.28^\circ \div 90^\circ)$,即70.4 Hz。

在实际应用中,当针筒转速为15 r/min时,选针刀的动作频率为72 Hz,与计算结果相符。当针筒为最高转速20 r/min时,频率为93.74 Hz,即压电陶瓷选针器的最高频率要大于94 Hz,与实际应用中压电陶瓷的最高动作频率为100 Hz相一致。传统织针的选针刀的动作频率计算如式(3)所示:

$$f = \frac{N \cdot v}{60n} \quad (3)$$

式中: f 为选针刀的动作频率, Hz; N 为织针的枚数; n 为选针器的段数; v 为针筒的角速度, r/min。

为了进行比较, 将选针刀的动作频率转换为织针上下运动的频率, 织针上下运动频率的计算如式(4)所示:

$$f_{\text{织针}} = \frac{N_1 v}{60} \quad (4)$$

式中: $f_{\text{织针}}$ 为织针的动作频率, Hz; N_1 为圆纬机路数, 路; v 为针筒的转速, r/min。

因此, 采用选针刀的圆纬机的最高频率转换为织针动作频率后为 24 Hz。如果采用磁悬浮式织针, 由于不再有中间的传动机构, 而由电磁力直接控制织针运动, 根据针织工艺可知, 织针完成一次编织动作, 最短的时间为 6×10^{-3} s, 也就是织针动作频率为 167 Hz, 效率提高了 6 倍以上, 根据磁悬浮技术的理论及其应用, 该效率从理论上是可行的。

2.3 针筒转速分析

根据压电陶瓷式选针原理, 织针的运动轨迹由三角的形状来决定, 织针的轨迹都不变, 纱线的位置也不变。而在采用磁悬浮式驱动织针装置的圆纬机中, 由于不存在三角, 织针的运动轨迹由针筒的转动和织针上下往复运动两个运动合成。如果针筒转速低, 就有可能发生织针在完成整个编织动作后, 织针没有钩到纱线; 如果针筒转得过快, 织针还没有完成编织动作时, 就已经转过了钩纱线的位置。织针的运动沿着针筒的圆柱面展开的轨迹如图 4 所示。

图 4a 中, 磁悬浮式织针的转速正常, 织针能够钩到纱线。在图 4b 中, 针筒的转速过慢, 织针在完

成一次上下往复运动后, 没有到达钩线的位置。图 4c 中, 针筒转速过快, 使得织针在到达钩线位置时, 还没有钩到纱线。因此, 图 4b 和图 4c 都是因为针筒上绝对位移编码器归零位与织针频率之间的匹配问题, 也就是说, 一个编织动作开始位置必须在两路纱线的间隔之间调整, 而两路纱线之间的间距是固定的, 因此在开始编织时, 针筒上的绝对位移编码器归零位必须与织针的动作频率匹配。

2.4 织针运动受力分析

2.4.1 上升

织针在上升阶段的受力如图 5a 所示。织针运动时在针壳中会存在倾斜, 因此就会与径向支撑接触, 从而产生摩擦力。假设织针倾斜的角度为 θ , ($^\circ$), 摩擦系数为 μ , 电磁力为 F , N, 则织针所受的摩擦力 $f_{\text{摩}}$ 的计算如式(5)所示:

$$f_{\text{摩}} = \mu \cdot F \tan \theta \quad (5)$$

设织针在运动时的加速度为 a

($a \geq 0$), 可得织针运动时的受力公式如式(6)所示:

$$F - mg - f_{\text{摩}} = ma \quad (6)$$

结合式(5)和(6)可得式(7):

$$F = mg + \mu \cdot F \tan \theta + ma \quad (7)$$

织针的质量 m 一般在 0.6 g 左右, 摩擦系数 μ 取 0.2, $\tan \theta = 0.17$ 。

2.4.2 下降

在织针下降阶段, 织针所受的力较多, 受力分析如图 5b 所示。

根据受力分析图, 可得织针所受摩擦力公式如式(8)所示:

$$f'_{\text{摩}} = \mu \cdot (F + mg) \cdot \tan \theta \quad (8)$$

织针在下降时, 所受纱线拉力为 $f_{\text{纱}}$, 摩擦力为 $f'_{\text{摩}}$, 纱线的拉力一般在 3~5 cN, 可得织针受力公式如式(9)所示:

$$F + mg - f_{\text{纱}} - f'_{\text{摩}} = ma \quad (9)$$

因此可得电磁力表达式如式(10)所示:

$$F = \frac{f_{\text{纱}} + \mu mg \tan \theta + m(a - g)}{1 - \mu \tan \theta} \quad (10)$$

由此电磁力表达式和织针运

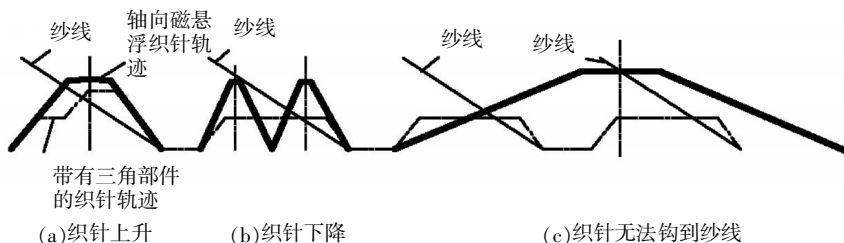


图 4 磁悬浮式织针运动轨迹分析

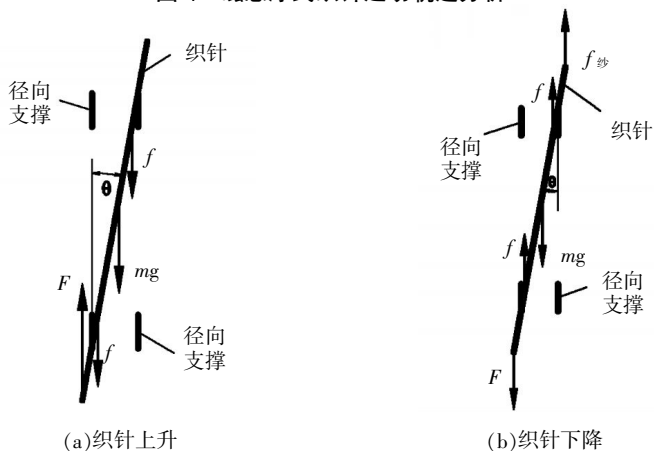
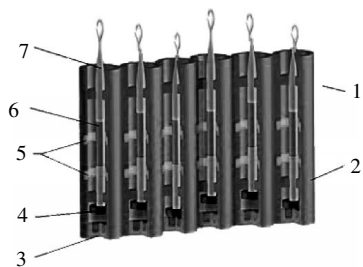


图 5 织针运动过程中的受力分析

动受力分析,可以对磁悬浮式织针运动模型建立一个较完整的驱动和运动受力基本关系式。

3 磁悬浮式织针装置结构设计

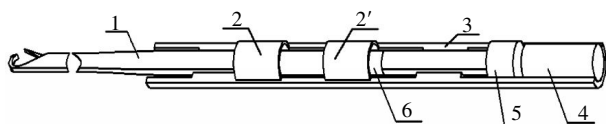
磁悬浮织针三维示意图及单元结构图如图6、图7所示。为了提高织针的抗弯性能,织针的上部分采用矩形结构,织针下部分为圆柱形。位移传感器的动极片镀在织针的圆柱形部分,两个固定极片镀在织针的针壳上^[4]。按照提花圆纬机的针织工艺要求,织针间的距离在0.4~0.6 mm,由于针壳的直径有4 mm,如果在针筒圆周上排列一圈织针,显然达不到针织工艺的织针间距要求。因此,磁悬浮式织针在针筒圆周上按照内、中、外3圈来分布,而且织针的形状也有内、中、外3种形状的织针,内、外织针的顶部有一个折弯,中间织针为竖直形状。织针顶部的折弯会导致纱线的拉力对织针产生一个倾斜力的作用,因此在针壳的上部也做一个织针的径向支撑。



1.针筒;2.针壳;3.电磁装置;4.永磁体;5.传感器动极片;6.固定极片;7.织针。

图6 磁悬浮织针装置结构三维示意图

如图7所示,通过电参数来改变织针所受电磁力的大小及频率,使得织针按照设定的运动规律做上下往复直线运动,同时织针随着针筒一起做圆周运动,在传感器等控制装置作用下,即可实现三功位提花编织动作。其中,高度最低的织针执行的是浮线动作,最高为成圈动作,次高为集圈动作。



1.织针;2、2'.传感器固定极片;3.织针壳体;4.电磁装置;5.永磁体;6.传感器。

图7 磁悬浮式织针单元结构图

4 结束语

介绍了传统电子选针器的结构及其工作原理,分析了它们的优点及其主要的缺点,同时介绍了近期国内外对电子选针器及其关键零部件织针的研究进展。

提出了基于磁悬浮式驱动织针基本原理,结合磁悬浮式织针的运动受力模型与选针频率分析、磁悬浮式织针针筒转速与织针频率之间的匹配等基本的理论分析,为开展磁悬浮式驱动织针装置的整体设计,织针结构设计及磁悬浮式织针在针筒上的排列方式(内、中、外3圈)等原理性的探讨与研究,为进一步研究悬浮织针结构传感器安装、建立磁悬浮式织针装置的悬浮动态模型奠定基础。

参考文献

- [1]吴晓光,张建钢,张成俊,等.压电陶瓷片受力分析及选针器设计[J].针织工业,2008(2):19-21.
- [2]周康善.国内外针织材质及其工艺性能分析[J].纺织器材,2002,29(2):11-16.
- [3]刘淑琴.磁悬浮轴承技术在电主轴中的应用[J].机械工人(冷加工),2005(8):21-22.
- [4]WANG X G, FANG H J. The calculation of the centripetal force of a magnetic suspension system using ANSYS [C]. Proceedings of the Twelfth International Symposium on Magnetic Bearings. China, Wuhan: The Conference of ISMB 12, 2010: 301-306.

收稿日期 2012年2月11日

《针织圆机实用宝典》即将出炉

针织圆机是纬编针织企业的主要生产设备,量大面广,应用普遍。为普及针织大圆机的相关知识,增进技术人员的交流,更加充分地发挥设备的效能,加快针织新产品的开发及产业升级,《针织工业》杂志计划出版一套针对于大圆机选购、使用、维修的工具书——《针织圆机实用宝典》(以下简称宝典),该宝典集合行业内十余位专家数十年的经验而成,专业、权威、实用。宝典采用问答形式,对一些圆机实际操作使用中遇到的各种问题予以解答,主要内容涉及圆机的工作原理、设计、安装、维修、调试以及实际生产中各种面料产生疵点的原因及疵点排除方法。

该宝典将采用大32开铜版纸印刷,图文并茂,制作精良,装帧精美,经久耐用,携带方便,便于技术人员随时查阅。

宝典第一册预计将于2012年下半年出版,敬请关注。

地址:天津市南开区鹊桥路25号《针织工业》编辑部

邮编:300193

电话:022-27385020 27497930 27382711 27411594

传真:022-27384456

E-mail: zzgybjb@yahoo.com.cn; 825409297@qq.com