

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017070120505

自动穿经机剑带驱动系统设计仿真分析与优化

刘光新, 孙磊厚, 刘军华

(常州信息职业技术学院 机电工程学院 江苏 常州 213164)

摘要:介绍了穿经机剑带驱动系统的结构、功能及使用现状,对剑带驱动系统运行过程中的加减速过程、受力状况以及运行的平顺性作了动态仿真分析。针对纯毛纱线穿经过程中出现的断纱现象,对剑带驱动系统的运行参数进行分析和优化。根据仿真分析的结果对驱动系统中各关键零部件的设计、制造以及系统控制提出了改进建议,对进一步提升自动穿经机设备的运行性能,改善设备各子系统的运行协调性具有一定的指导作用,可作为剑带驱动系统优化设计的理论依据及结构优化的参考。

关键词:球形齿驱动轮;穿经机;剑带结构;剑带导轨

中图分类号:TS 103.123; TP 273 文献标志码:A

Simulation analysis and optimization for rapier belt driving system design of automatic drawing-in machine

LIU Guangxin, SUN Leihou, LIU Junhua

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Changzhou College of Information Technology, Changzhou, Jiangsu 213164, China)

Abstract: The structure, function and using status of rapier belt driving system of automatic drawing-in machine was introduced, dynamic simulation analysis for acceleration and deceleration process, stress condition and operating comfort of rapier belt driving system while running was conducted; several improvement suggestions for designing, manufacturing and controlling key parts of driving system according to the simulation results were proposed, which can a certain guide to further enhance the performance of automatic drawing-in machine and improve coordination of each subsystem, and as a theoretical basis for design optimization of rapier belt driving system or a reference for structural optimization of Rapier belt.

Keywords: spherical gear driving wheel; automatic drawing-in machine; rapier belt structure; rapier belt guiding rail

穿经是织造的准备工序,是按织布工艺要求将经纱依次穿过停经片、综丝、钢筘等。自动穿经机可以在较短时间(穿经速度大于 120 根/min)内快速、高效、高质量地完成穿经工作,能够适应快节奏的生产现场需求。但在使用过程中发现当穿经速度超过

120 根/min 后,剑带在牵引纱线过程中就会发生纱线断裂等故障现象,纯毛纱线发生断裂的情形尤为突出,影响了机器功能的正常发挥,情形较严重时可能会延迟用户的交货期,导致失去订单、发生违约等不良后果。因此本文针对纯毛纱线穿经过程中出现的断纱现象,对剑带驱动系统的动力学特性进行研究分析,找到故障产生的原因,以期消除故障,提高机器的可靠性和生产效率。

1 三维建模及仿真

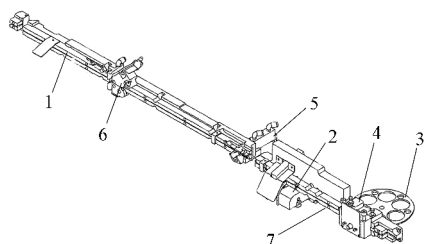
剑带驱动系统是自动穿经机的关键子系统之一^[1],其中剑带驱动系统主要结构、剑带压紧机构

收稿日期:2017-07-17

基金项目:常州信息职业技术学院自然科学课题(CXZK2016001),常州信息职业技术学院科研平台(CXPT201702G)

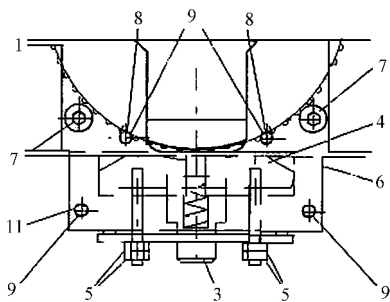
第一作者简介:刘光新,高级工程师,硕士,研究方向为机械设计与机电控制技术。E-mail: 3948758@qq.com。

及驱动机构见图 1、2、3。剑带驱动系统由球形齿驱动轮、剑带、导轨、剑带压紧机构、吹排纱机构等构成。其功能为球形齿驱动轮顺时针方向旋转,驱动剑带向左,沿导轨依次穿过已布设就位的钢筘、综丝、停经片到达预定的钩取经纱位置,驱动轮极短暂停止,此时处于张紧状态的经纱进入剑带末端剑带钩(如图 4 所示)钩口中,这一过程称之为钩纱行程;球形齿驱动轮反向旋转,剑带连同被钩住的经纱沿导轨依次穿过停经片、综丝、钢筘,并使得经纱从剑带钩型开口脱离,球形齿驱动轮短暂停机,这一过程为牵引行程,再经吹排纱机构将经纱末端从导轨中排出,同时与机器的其他子系统协调配合,完成一次穿经动作,如此循环往复,即可完成一个布品的穿经。由此可见,机器正常工作时,穿经效率与剑带的运行速度密切相关。



1—导轨; 2—吹排纱机构; 3—球形齿驱动轮; 4—剑带压紧机构;
5—综丝定位机构; 6—停经片定位机构; 7—钢筘定位机构。

图 1 剑带驱动系统示意图

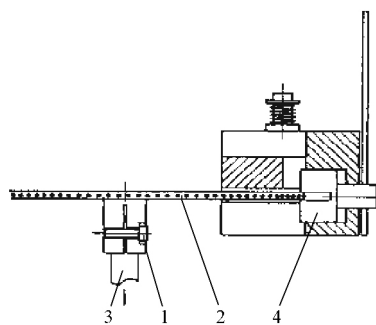


1—球形齿驱动轮; 2—弹簧; 3—调整杆; 4—压板;
5—螺母; 6—座板; 7—螺钉; 8—定位孔; 9—销。

图 2 剑带压紧机构示意图

1.1 驱动机构三维建模

按照图 1、2、3 结构使用 INVENTOR 软件,根据系统中各零部件的具体尺寸、所用材料等参数建立仿真所需的三维模型,图 5 为主要结构的三维模型(为便于观察将其他非重要零部件设定为不可见),其中球形齿驱动轮齿数为 100,球形齿直径为 2 mm,轮缘处厚度为 3 mm,齿顶圆直径为 128.984 mm,其与剑带之间的传动类似于齿轮齿条传动,其啮合圆直径为 127.814 mm,使用材料为铝合金 7A09;剑带总长度 1 400 mm,宽度 3.95 mm,



1—锁紧螺钉; 2—球形齿驱动轮; 3—电动机轴; 4—剑带压紧机构。

图 3 剑带驱动机构示意图

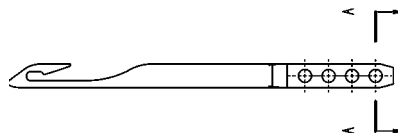
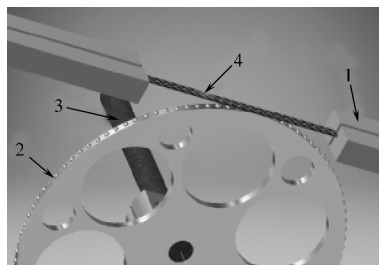


图 4 剑带钩

厚度 0.6 mm,其上与球形齿啮合的小孔直径约为 1.8 mm,材质为碳纤维复合材料,剑带行程约为 930 mm;导轨断面呈“十”字形空隙形状,其中剑带导向部分空隙导向槽宽度为 1 mm,纱线分离空隙导向槽部分宽度约 1.9 mm。导轨材质为不锈钢,由于停经片、综丝、钢筘等需要横向从导轨一侧运动到另一侧才能完成穿经,因此导轨部分不能制成整体结构,由 5 个分段组成,各分段之间的间隙以能够让停经片、综丝、钢筘等在穿经时满足顺利通过和定位精度要求即可,图 5 仅显示其中一部分。驱动用伺服电动机轴利用球形齿驱动轮上的对开槽孔通过螺钉与球形齿驱动轮固定连接,以消除反向传动间隙,选用松下伺服电动机,功率 400 W,最高输出转速 6 000 r/min。



1—导轨; 2—球形齿驱动轮; 3—电动机轴; 4—剑带。

图 5 剑带驱动机构三维仿真模型

1.2 驱动机构仿真分析

在机器运行过程中,除纯毛纱线外,一般穿经速度都可以达到 120 根/min,甚至更快而不发生拉断现象,而纯毛 80 Nm 纱线穿经时不会出现拉断现象的正常速度约为 110 根/min,当速度调至 120 根/min 后,就会出现拉断现象。影响纱线拉伸断裂强度的因素有纤维的性能、混纺比、纱线结构、

成纱工艺、温度、湿度、试样长度、测试拉伸速度等^[1-3]，由此可见要提高纯毛纱线的强力指标难度较大。为了提高纯毛纱线的穿经速度，设备必须适应织造现场纱线的抗拉能力。剑带在钩纱行程和牵引行程中运动状态有 3 种情形，分别是加速段、匀速段和减速段。由于剑带与剑带钩为一个整体结构，纱线在被剑带牵引过程中，一端为固定状态，另一端为自由状态，其自由端部分运动速度与加速度为剑带的 2 倍，而剑带运动加速度的大小与纱线所承受的张力直接相关，当纱线所受张力超过其强力后，就会产生拉断现象，因此对应纱线强力指标应该存在一组纱线运动参数的极限值^[4-5]，这些参数包括速度和加速度，超过此值就会产生拉断现象。在牵引行程中，纱线固定端的张力 $T^{[6]}$ 主要包括纱线与剑带钩的摩擦力 T_1 ，自由端的空气阻力 T_2 ，自由端纱线剩余长度的质量与运动加速度产生的惯性力 T_3 。

高速运动的纱线与周围静态空气产生相对速度，因而空气对纱线产生阻力，所产生的空气阻力 T_2 与自由端纱线运动的方向相反，即：

$$T_2 = \frac{1}{2} C_f \rho_0 \pi d (2V)^2 S = 2 C_f \rho_0 \pi d V^2 S \quad (1)$$

式中： C_f 为周围大气与纱线的摩擦因数； S 为自由端剩余纱线长度； d 为纱线直径； ρ_0 为周围大气的密度； V 为剑带速度。

牵引行程中，剑带处于加、减速阶段时，纱线的惯性力 T_3 根据牛顿第二定律为：

$$T_3 = 2ma \quad (2)$$

式中： m 为自由端剩余纱线的质量； a 为剑带的加速度。其中： $m = \delta S$ ， δ 为纱线线密度。

牵引行程中，纱线与剑带钩的摩擦力为：

$$T_1 = 2\mu(T_2 + T_3)$$

式中 μ 为纱线与剑带钩的摩擦因数。

纱线固定端张力为：

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = (1 + 2\mu)(T_2 + T_3) \quad (3)$$

牵引行程处于匀速段时， $T_3 = 0$ ，所以有：

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = (1 + 2\mu) T_2 \quad (4)$$

由此可见，对于确定的纱线品种，固定端纱线的张力与剑带的速度、加速度以及摩擦副之间的摩擦因数 μ 有关，那么在保证纱线不被拉断的情况下，尽可能提高机器的工作效率，就需要对剑带驱动系统的运行状态参数进行分析。为了尽可能模拟实际运行状态，仿真所用参数取机器实际运行时的值，其中剑带在导轨中运行时的摩擦阻力根据实测得到约为 2.63 N，伺服电动机设定运行参数取穿经速度分别为 110、120、130、140 根/min 时的实际运行参数见表 1。

表 1 伺服电动机设定运行参数

穿经速度 / (根· min ⁻¹)	钩纱 加速 时间 / ms	行程 匀速 时间 / ms	减速 时间 / ms	牵引 加速 时间 / ms	回程 匀速 时间 / ms	减速 时间 / ms	最高 转速 / (r·min ⁻¹)
110	11.5	168.0	11.5	13.6	199.7	13.6	781.8
120	10.5	154.0	10.5	12.5	183.0	12.5	852.9
130	9.7	142.2	9.7	11.5	169.0	11.5	924.0
140	9.0	132.0	9.0	10.7	156.9	10.7	995.1

根据表 1 对剑带运行过程进行仿真，其中伺服电动机加减速采用“S”形加减速方式^[7-9]，剑带在一个往复行程中的线速度和加速度曲线见图 6。

由图 6 可知，剑带在牵引行程中，对应穿经速度 110、120、130、140 根/min，最大线速度分别为 4 419.8、4 821.8、5 224.73、5 749.37 mm/s，最大加速度分别为 661 820、1 161 900、1 950 060、2 406 700 mm/s²，由此可见，最大速度的变化明显比加速度的变化小得多。由加速度曲线形态可知，剑带受力在加、减速段冲击明显。由加速度和速度曲线形态可以看出，剑带在运行中其运动平顺性较差，这是由剑带和球形齿驱动轮的结构所导致的必然结果。

2 驱动系统结构及其运行参数调整

由式(1)可知，在低速情况下，纱线自由端所受空气阻力 T_2 可忽略不计，纱线在被牵引过程中张力的大小主要与加速度有关。为了减小加速度引起的纱线张力增加，可以对加速段和匀速段的时间参数作适当调整，由于剑带行程是一个常量，在延长加速段时间的情况下，必然减少匀速段的时间，导致剑带在匀速段速度提高，但在低速范围内，其对张力的影响极小。对于纯毛纱线穿经速度在 110 根/min 时机器能够工作正常，据此可将剑带的加速度限定在 661 820 mm/s² 以下，适当提高匀速段的速度。以穿经速度在 110 根/min 为例，以迭代优化的方式最终将加速度段时间调整为 35.3 ms，匀速段时间调整为 132.3 ms，减速段时间保持不变，在其他条件不变的情况下，剑带牵引行程的线速度、加速度、线位移曲线见图 7。

剑带在牵引行程中，对应穿经速度 140 根/min，最大线速度为 6 052.39 mm/s，最大加速度为 414 701 mm/s²，由此可见，相对于穿经速度 110 根/min 时，线速度提高 36.9%，但仍处于低速状态，由此导致的空气阻力，对纱线张力的影响极小，但加速度相对于穿经速度 110 根/min 时减少 37%，伺服电

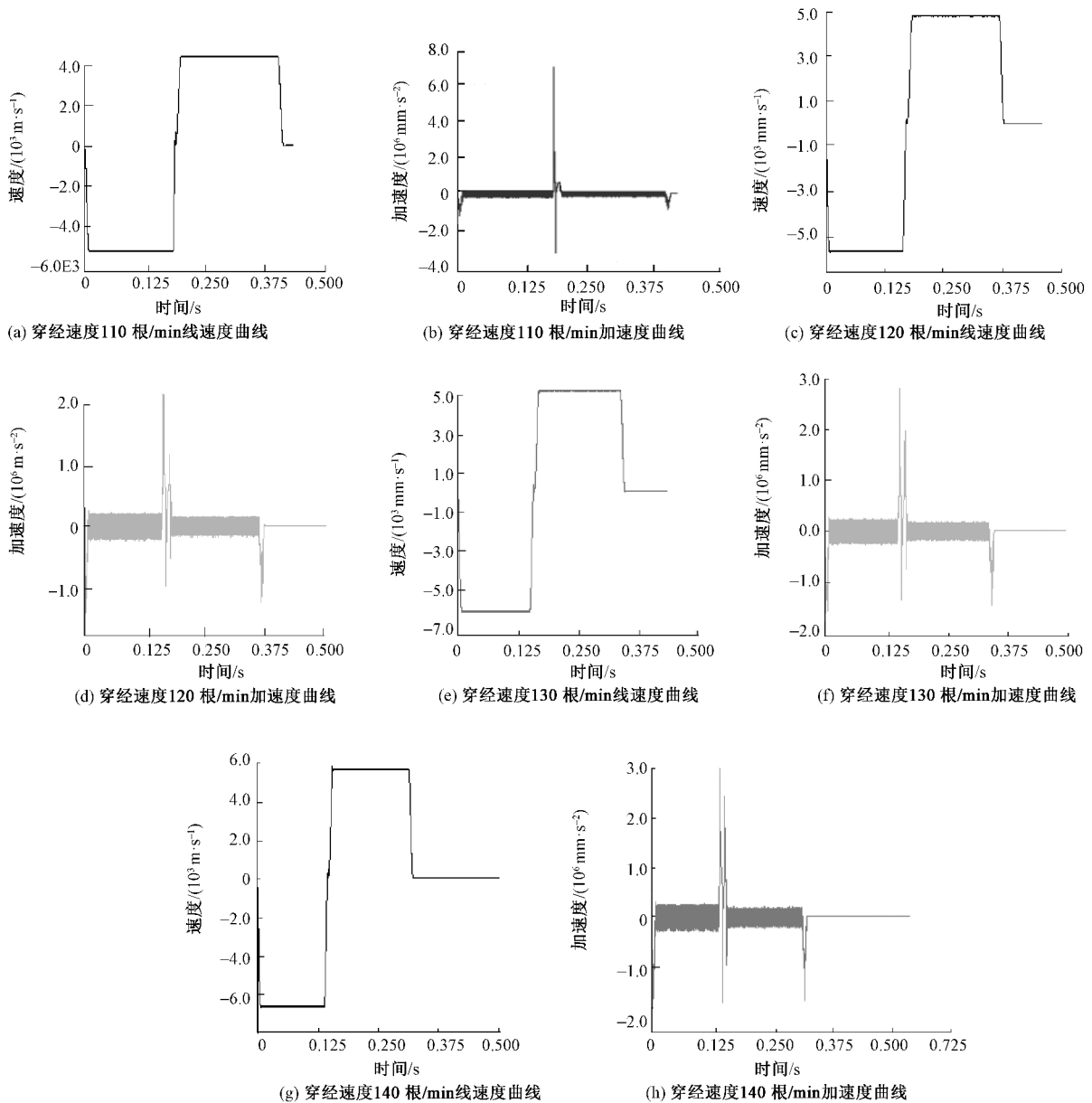


图6 剑带速度和加速度曲线

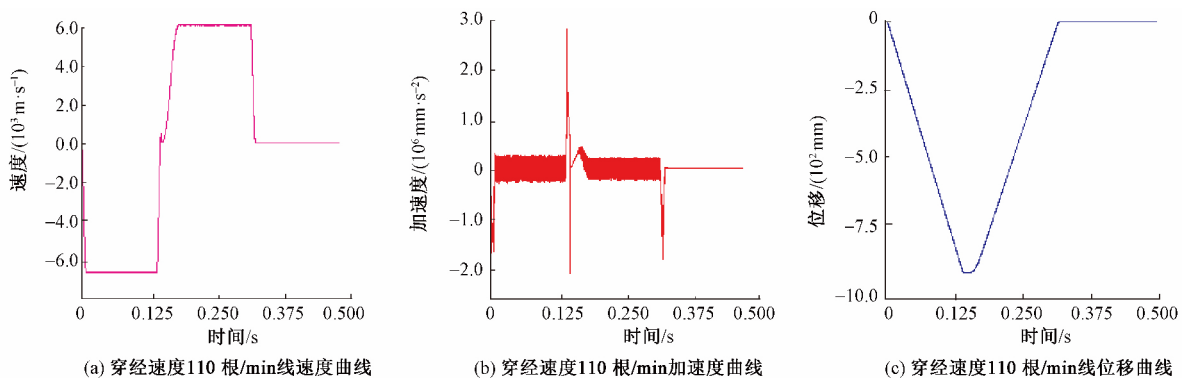


图7 调整后剑带速度和加速度曲线

动机最大转速 900.9 r/min。由图7(c)可以看出,运动参数调整后,剑带的出发位置点和返回位置点重合,参数调整符合剑带位置要求。此参数不仅适

用于穿经速度 140 根/min 的工况,在牵引行程过程中,对其他穿经速度下伺服电动机的参数设定也适用,从而减少剑带的周期运行时间,在穿经速度不变

的情形下,为机器其他子系统运行时间的协调分配提供了有利条件。

针对仿真中发现的问题,为了改善剑带运行平顺性以及加速段和匀速段的受力状况,可以在满足机器功能不变的情形下,采用其他传动形式如齿轮齿条传动,剑带导轨可以采用高强工程塑料以减小摩擦力等。固定端纱线张力除与加速度和线速度有关外,纱线与剑带钩之间的摩擦因数也与张力的的大小相关,剑带钩的材质以及表面加工质量对摩擦因数具有决定性影响,在满足剑带钩强度的条件下,尽量提高与纱线接触表面的加工制造质量,亦可采用特殊表面处理如表面陶瓷化以减小摩擦因数。

3 结 论

自动穿经机可以大幅提高穿经工序的效率,降低织造商生产成本,但机器在运行中也存在一些问题。针对80 Nm 纯毛纱线快速穿经时出现拉断现象,本文对机器剑带驱动系统的运动特性进行了仿真分析,通过运动仿真得到剑带运行时的加速度、线速度曲线,由曲线形态得出以下结论。

①纱线在牵引行程中,在加速段张力有冲击,通过运行参数迭代优化,得到纯毛纱线穿经速度在140根/min时的电动机运行参数分别为加速段时间为35.3 ms,匀速段时间为132.3 ms,减速段时间保持不变。

②穿经速度低于140根/min时的电动机运行参数可参照140根/min设定,剑带运行周期时间减少,为机器其他子系统协调运行提供了有利条件。

③剑带在工作过程中,运行的平顺性较差,传动形式有待改进,可以采用在传动过程中冲击较小的齿轮齿条传动形式。

④为了减少剑带的运行阻力,剑带运行导轨材料可以使用高强工程塑料。

⑤剑带钩的制造应着重改善其表面加工质量,同时可采用特殊表面处理工艺以减小摩擦因数。

本文分析结果可作为自动穿经机剑带驱动系统改善运行、设计的依据或作为结构优化的参考,以期改进后的机器运行更可靠和高效。

参考文献:

- [1] 刘光新,孙磊厚. 停经片分离穿纱系统设计[J]. 毛纺科技, 2016, 44(2): 62-65.
- [2] 上海市纺织工业技术监督所,鲁泰纺织股份有限公司,中国棉纺织行业协会. 棉本色纱线: GB/T 398—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] 山东海龙股份有限公司,上海市纤维检验所,中国纺织科学研究院,等. 化学纤维短纤维拉伸性能试验方法: GB/T 14337—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [4] 上海市纺织工业技术监督所,国家纺织制品质量监督检验中心. 纺织品卷装单根纱线断裂强度和断裂伸长率的测定: GB/T 3916—2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [5] 内蒙古自治区纤维检验局,内蒙古赤峰市土畜产公司. 洗净绵羊毛: GB/T 19722—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [6] 午泽英. 单纱强力的控制及预测[J]. 棉纺织技术, 2014(6): 5-8.
- [7] ISHIDA M, OKAJIMA A. Flow characteristics of the main nozzle in an air-jet loom. 1. measuring flow in the main nozzle [J]. Textile Research Journal, 1994, 64(1): 10-20.
- [8] 赵巍,王太勇,万淑敏. 基于NURBS曲线的加减速控制方法研究[J]. 中国机械工程, 2006(1): 1-3.
- [9] 樊金光,马杰. S形曲线算法在FDM3D打印机中的应用[J]. 河北工业大学学报, 2016(6): 1-8.
- [10] 王粟,张威亚. 采用S型控制算法的步进电机控制器[J]. 华侨大学学报, 2016(4): 404-410.