

电磁式张力器的结构设计和张力测试

尹铭泽^a,张昊^b,缪宇轩^b,孟祥益^b,夏港东^b,王庆东^b

(南京航空航天大学 a. 航天学院;b. 机电学院,江苏 南京 210000)

摘要:电磁式张力控制器是张力控制系统最小的控制单元,设计了一种电磁式张力控制器,介绍该张力控制器的结构,分析其工作原理,并且搭建实验平台,测量其相关参数,验证其张力控制能力。使用 Maxwell 软件对张力器进行磁场分析。通过对比分析表明,选取合适的材料和参数,可使电磁式张力控制器达到需要的控制值。

关键词:电磁式;张力;结构;Maxwell 仿真

中图分类号:TP273 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)02-0178-04

Structural Design and Experimental Test of Electromagnetic Yarn Tensioner

YIN Mingze^a, ZHANG Hao^b, MIAO Yuxuan^b, MENG Xiangyi^b, XIA Gangdong^b, WANG Qingdong^b

(a. College of Astronautics and b. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210000, China)

Abstract: In this paper, an electromagnetic tension controller is designed, it is the smallest control unit in the yarn tension control system. This paper introduces the structure of the tension controller and analyses its working principle, then builds an experimental platform, which is used to measure the parameters of the tension controller and verify its tension control capability. The electromagnetic force of tensioner is analyzed by Maxwell software. Suitable materials and parameters are selected by comparing experimental values with theoretical values, thus making the electromagnetic tension controller meet the design requirements.

Keywords: electromagnetic; tension; structure; Maxwell simulation

0 引言

在纺织业中,纱线张力是贯穿于纺织制造各个工序的关键参数。纱线张力值的稳定将直接关系到纱线质量、生产效率及后续加工的顺利进行。由此可见控制纱线张力的智能控制系统的研究越发重要。目前市场上大多数纱线张力控制系统是通过人工测量来操作的,误差较大且生产效率低。本文设计了一种电磁式张力控制器,能够根据实际情况对纱线的张力进行调整,提高生产效率和纱线质量,减少浪费。

国内常用的纱线张力控制装置主要可分为摩擦型和旋转型两种。摩擦型张力控制装置是纱线在传送过程中经过张力装置时,通过增加或减少纱线与控制器之间的摩擦力来调节张力。常见的摩擦型张力控制器有杆式、盘式、杠杆式和球式张力器^[1]。

图 1 为盘式张力控制器,也被叫做弹簧张力器,当纱线经过装置时,能根据弹簧的受力大小来调节纱线中的力;图 2 为杆式纱线张力器,通过调节纱线传送中的倾斜角度改变传送速度,以此来控制纱线张力;图 3 是杠杆式张力器,上部支架以弹簧支撑,能够顺时针旋转,当纱线中的张力比较低时,杠杆就位于上方位置,以此增加张力;图 4 是球式张力器^[2],通过改变纱线的总倾斜角来改变纱线中的张力。

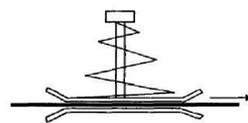


图 1 盘式张力控制器

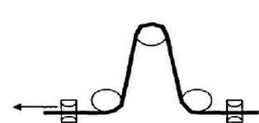


图 2 杆式张力控制器

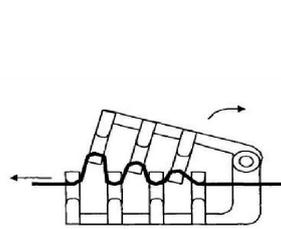


图 3 杠杆式张力控制器

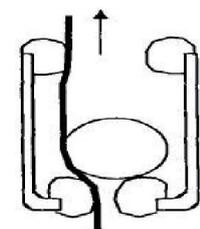


图 4 球式张力控制器

旋转式张力控制器(图 5)是将传送中的纱线缠绕两三圈到装置的旋转元件上,牵引力施加在旋转张力构件上,通过调控旋转装置的旋转角度来控制纱线的张力。当速度不稳时,对纱线中的张力产生波动。

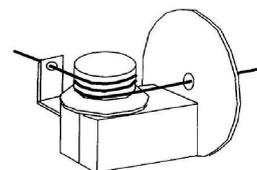


图 5 旋转式张力控制器

第一作者简介:尹铭泽(1993—),男,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为机械设计及理论。

除了上面的机械型张力控制器之外,市面上还有油阻尼式张力控制器和空气活塞式阻尼张力控制器,如图6和图7所示。



图6 油阻尼式张力控制器



图7 空气活塞式阻尼张力控制器

上述张力器能满足基本的张力控制,但都存在如下缺点:1) 纱线张力小且不稳定,精度不高;2) 纱线的放线速度对张力的波动大;3) 张力控制器缺少连续性,不能实时对张力的变化做出反应;4) 机械式的纱线张力控制装置会受到纱线的磨损,使设备误差不断增大。

1 电磁式张力控制器结构及参数

设计张力控制器时,考虑到纱线的特性,根据纱线张力过大易断以及纱线表面有绒毛的情况,在现有的纱线张力控制器的基础上,设计出了一种性能比高的电磁式张力控制器,它的三维结构如图8所示。

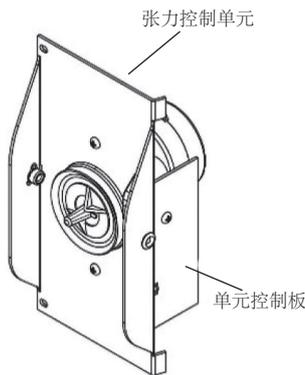


图8 电磁式张力器三维图

此电磁式张力控制器除了单元控制板外,还有11个部件,如图9所示。每个部件都有它的功能。在单元控制板上装有一个光电传感器,用于检测纱线是否正常运行。

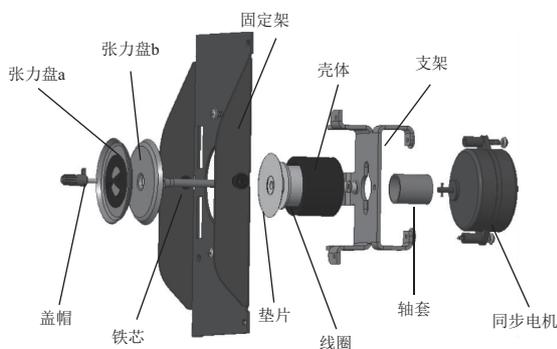


图9 电磁式张力器分解图

2 电磁式张力控制器的结构功能

1) 同步电机:纱线的表面存在大量的绒毛,当控制器运行时,高速的处理过程会使2个张力盘之间残留下绒毛,积累到一定的量时,如不及时清理干净,将会使纱线上的摩擦力不断增大,阻碍纱线的运动,使纱线的运动速度下降;且张力盘受到磨损,容易局部过热,发生断纱现象,影响控制系统的安全性与准确性。所以设计的同步电机,在张力控制器运转过程中,一方面可以清理由于纱线剩下的绒毛,使其自动脱落,另一方面可以防止局部摩擦发热的现象。

2) 电磁线圈与壳体(磁性材料):作为整个张力器控制的核心部件,通过控制中心给线圈通上直流电压,利用电磁线圈的电磁特性产生吸力进而控制纱线张力大小。在选择型号的时候,线圈的参数及电流对产生的吸力值有影响,外部电磁材料对吸力大小也有一定的影响。通过实验对比材料DT4A、DT4E、DT4AG、A3和10#等,参考其对电磁线圈的磁力影响程度。

3) 张力盘:这对张力盘在外形上区别不大,但所选用的材料有区别,靠近电磁线圈端张力盘b采用的是无极性的材料,而张力盘a则是采用极性材料制成。系统运行过程中,纱线从这2个张力盘中通过,当电磁线圈通上电源,产生磁场有了吸力,有极性的张力盘被吸附,挤压纱线产生张力。

3 电磁式张力控制器的原理与仿真

3.1 电磁铁的参数

电磁式张力器中的张力 F 可以分为两个部分,其中一部分可以看作是环形电磁铁 F_1 ,另一部分张力 F_2 由铁芯提供。张力公式为:

$$F = F_1 + F_2 \quad (1)$$

其中作为环形电磁铁模型如图10所示,其具体参数如表1所示。

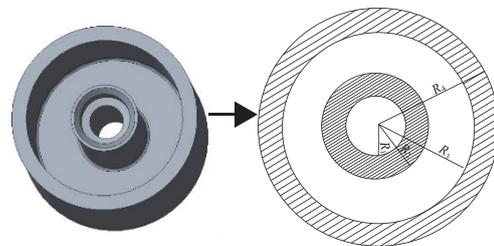


图10 磁力线分布

表1 环形结构的具体参数表

参数	R_1 /mm	R_2 /mm	R_3 /mm	R_4 /mm	匝数	电阻/ Ω
数值	4.6	6.3	14.75	17.48	4 500	520

电磁式张力器中的控制装置参照环形电磁铁的结构模型,可以得出电磁吸力大小与磁力线穿过磁极的总面积

及气隙中的磁感应强度的平方成正比^[3-4]。将电磁铁上的磁感应强度 B 沿磁极表面的分布看作是均匀的,则电磁吸力为:

$$F_1 = \frac{B^2 \times S}{2\mu_0} \quad (2)$$

式(2)为麦克斯韦公式^[5-6],其中 μ_0 是空气中的磁导率,为 $4\pi \times 10^{-10}$ H/cm; S 是磁化面的面积(cm^2); B 是磁感应强度(Wb/cm^2)。将 μ_0 的数值代入式(2),可以得出电磁吸力为:

$$F_1 = \left(\frac{\phi}{5\,000} \right)^2 \times \frac{1}{S} \quad (3)$$

由基尔霍夫第二定律估算可知,由于空气磁导率相对于衔铁的磁导率要小很多,则忽略在衔铁上的磁动势消耗,得出:

$$\phi' = IW \times G_\delta \times 10^8 \quad (4)$$

其中: IW 是绕线的安匝数; G_δ 是工作磁通的磁导; ϕ 是通过铁心磁化面的磁通量。可以得出工作磁通的磁导公式(5):

$$G_\delta = \frac{S_0 \mu_0}{\delta_1} = \mu_0 \times \frac{S_1 S_2}{\delta_1 \times (S_1 + S_2)} \quad (5)$$

其中: S_0 是磁极端面的截面积(cm^2); δ_1 是气隙长度(cm); $S_1 = \pi(R_1^2 - R_2^2)$; $S_2 = \pi(R_3^2 - R_4^2)$ 。

由于在实际应用中,其他地方也有一定的磁势降,所以磁路中的实际磁通要比上述值小一些,这里使用的值比实际值小 5%,所以实际磁通为:

$$\phi = \phi' (1 - 5\%) \quad (6)$$

电磁吸力在环形结构中由两部分面积组成,将上述公式代入可得:

$$F_1 = \left(\frac{\phi}{5\,000} \right)^2 \times \left(\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} \right) \quad (7)$$

将上述公式代入式(1),得:

$$F_1 = 1.77 \times \frac{(IW)^2 \times (R_1^2 - R_2^2) (R_3^2 - R_4^2)}{\delta_1^2 \times (R_1^2 - R_2^2 + R_3^2 - R_4^2)} \times 10^{-7} \quad (8)$$

另一部分吸力是由铁芯提供,同理,它的吸力由式(2)推导出来,其中铁芯接近张力盘端的面积为 S_3 ,张力盘 a 与铁芯之间的距离为 δ_2 ,实际磁通同样降低 5%,可得

$$F_2 = 0.9 \times \frac{(IW)^2 \times \mu_0^2 \times S_3}{5\,000^2 \times \delta_2^2} \quad (9)$$

根据上述式(8)和式(9),代入电磁铁的参数,可得:

$$F_1 = 1.77 \times \frac{(IW)^2 \times (R_1^2 - R_2^2) (R_3^2 - R_4^2)}{\delta_1^2 \times (R_1^2 - R_2^2 + R_3^2 - R_4^2)} \times 10^{-7} = \frac{15.6 \times 10^{-2}}{\delta_1^2}$$

$$F_2 = \frac{3.86 \times 10^{-2}}{\delta_2^2} \quad (10)$$

把式(10)中力的单位换算成 N,且距离的单位取 mm,可得 $F_1 = 15.3 \times 10^{-2} / \delta_1^2$, $F_2 = 3.78 \times 10^{-2} / \delta_2^2$ 。

取 $\delta_1 = 0.82$ mm,则 $F_1 = 1.75$ N;取 $\delta_2 = 0.60$ mm,则 $F_2 = 1.04$ N; $F = F_1 + F_2 = 2.79$ N。

3.2 电磁铁的 Maxwell 仿真分析

本文基于 Ansoft Maxwell 软件对所设计的电磁铁模型进行仿真计算。设计的电磁铁模块是轴对称的结构,所以

选择轴对称求解模型,在软件中只需要画出所求装置的一半的模型。具体步骤^[7-8]如图 11 所示。

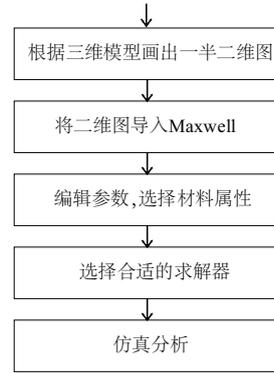


图 11 Maxwell 建模仿真流程图

在 CAD 中创建所设计的电磁铁模型,根据电磁铁的实际尺寸进行建模,对于倒角、细孔和螺纹可忽略,同时为求出两部分吸力 F_1 和 F_2 ,分别设计了带铁芯和不带铁芯的一半二维图如图 12 和图 13 所示。

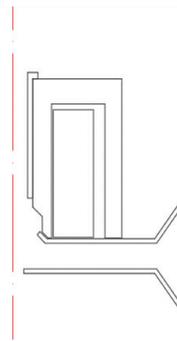


图 12 带铁芯电磁铁二维图

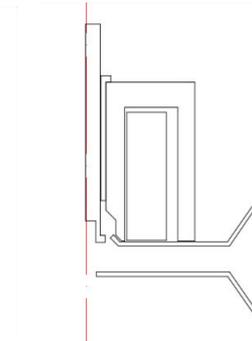


图 13 不带铁芯电磁铁二维图

将 CAD 中的图形保存为 DXF 模式导入 Maxwell^[9-11],工作空间选择 z 轴回转。由于带铁芯和不带铁芯的仿真是一样的操作,在这里仅列出带铁芯的结果。其中电磁铁中的线圈材料选择为 cooper,张力盘 a、外壳以及铁芯均选择材料 DT4A,张力盘 b 以及夹层均选择为非极性的材料,其余均为真空,张力盘 a 距离电磁铁的距离为 0.82 mm。因器件是在 24 V 直流电压下工作,通过测量计算,将安匝数设为 210 A。由于 Maxwell 的材料库中没有 DT4A 的资料,需手动输入它的 $B-H$ 参数,得到它的 $B-H$ 曲线图如图 14 所示。

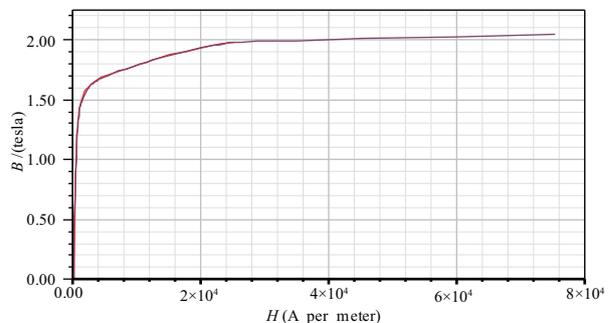


图 14 DT4A 的 $B-H$ 曲线图

仿真得出磁场分布^[12]结果如图 15 和图 16 所示。

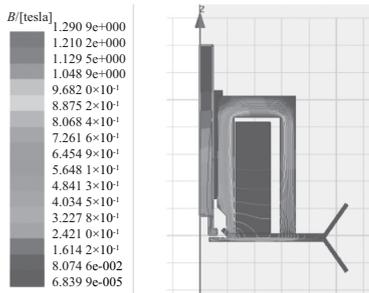


图 15 磁感应强度分布线

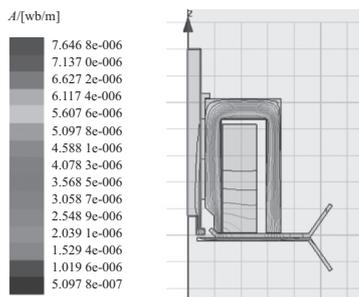


图 16 磁力线分布

根据设计要求,把张力盘 a 与电磁铁的距离变成变量,在张力盘 a 与张力盘 b 吸住的时候,张力盘 a 与电磁铁的距离为 0.82 mm。把张力盘 a 与张力盘 b 的距离改为 0~4.18 mm(x 轴的起点为张力盘 a 距离 b 为 4.18 mm,距离依次减小),步长设为 0.01 mm。由此可以得到张力盘 a 所受吸力与距离的关系曲线,如图 17 所示。同理把激励源 210 A 改为变量,张力盘 a 与 b 距离保持 0 不变,可以得到电磁铁不同输入下的吸力曲线,如图 18 所示。

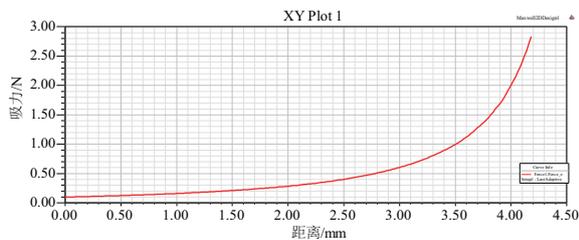


图 17 吸力与距离之间的关系图

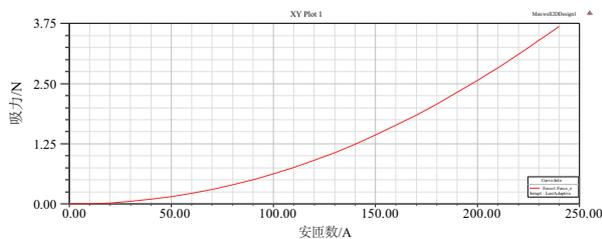


图 18 吸力与安匝数之间的关系图

由图 18 可以得出,当激励源安匝数一定时,通过减小张力盘与电磁铁的距离,张力盘所受到的吸力会不断增大,且距离越小,增大越明显;当距离一定时,调整安匝数

值,安匝数值越大,张力盘所受的吸力会越来越大。通过仿真结果可以得到在安匝数值为 210 A,距离为 0(即电磁铁距离张力盘 a 为 0.82 mm,铁芯的顶端距离张力盘 a 为 0.6 mm)时,有铁芯时张力盘 a 所受的吸力为 2.838 3 N。同时,在进行没有铁芯时的仿真时,得到的张力盘 a 所受到的吸力为 1.732 3 N。

4 搭建实验平台及数据分析

对于所设计的张力控制器,需要把张力控制在 0~700 mN 之间,张力盘之间的摩擦因数在 0.3 左右。在实验室对于所设计的张力器搭建了一个实验平台,进行张力大小的测试研究。采用砝码水平测量的方法,探究不同条件下电磁式张力控制器所能达到的最大吸力值。实验所采用的电源是 24 V 直流电压,探究不同的材料是否满足设计需要,并且在实验过程中得到最适合的电磁材料(纯铁热处理)。实验室测量试验平台如图 19 所示。



图 19 张力测试实验平台

线圈一定,搭配经过热处理的不同材质材料的壳体,得到表 2 所示的数据。

表 2 不同壳体的实验数据

材料	DT4A	DT4E	A3	10#
吸力/g	270~280	300~310	280~290	240~250

由于实验有一定的误差,且测试的张力是一个断开瞬时的力,所以结果取区间为 10 g 的范围值,同时,根据表 2 可得出,经过热处理的材料 DT4E 的吸力最大,DT4A 的吸力单位转化为牛顿(N)为 2.65~2.75 N。

热处理和未热处理的材料比较,得出热处理过的材料导磁性偏好;镀锌与不镀锌的同种材料比较影响差别不大。

5 结语

通过公式推导和仿真分析,可以得出此张力器的吸力与电磁线圈激励源的平方成正比关系,与张力盘和线圈间间隙的平方成反比关系。

对比计算、仿真和实验数据,其中计算和仿真结果相差 0.04 N,存在的误差很小。误差的来源是因为一部分磁场不均匀带来的误差,也有磁降 5%不是准确的值所带来

(下转第 187 页)

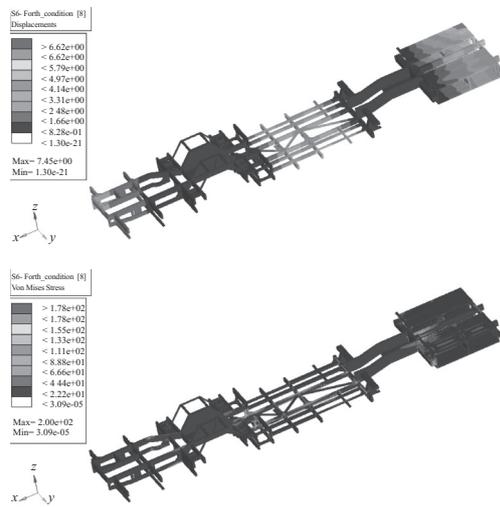


图 11 优化后扭转(右前轮下沉)工况下变形与应力云图

4 结语

本文运用 ADAMS/Car 软件搭建了整车虚拟样机模型,然后在 C 级路面模型中模拟得出满载弯曲工况和扭转(右前轮下沉)工况下与车架连接的各载荷的动态载荷峰值力,最后建立客车底盘车架有限元模型,以动态峰值载荷力为荷载约束,对车架进行有限元分析。结果显示,应力状况最差工况——扭转(右前轮下沉)工况下的最大应力为 196.8 MPa,最大变形为 4.70 mm。利用参数化优化设计对客车底盘模型进行优化,优化完成后的车架质量减少了 12.73%,车架的最大应力为 200 MPa,最大变形为 7.45 mm,满足强度与刚度要求。基于动态峰值力对客车底盘车架进行有限元分析时不必考虑动载系数的取值,提高了有限元分析的准确性。

参考文献:

- [1] 李娟. 纯电动汽车与燃油汽车动力系统生命周期评价与分析[D]. 长沙:湖南大学,2015.
- [2] 马鸣图,易红亮,路洪洲,等. 论汽车轻量化[J]. 中国工程科学,2009,11(9):20-27.
- [3] 郭立群. 商用车车架拓扑优化轻量化设计方法研究[D]. 吉林:吉林大学,2011.
- [4] 李越辉,尉庆国,徐彬,等. 基于灵敏度分析的节能赛车车架轻量化设计[J]. 机械制造与自动化,2014,43(1):134-137.
- [5] 张志鹏. 基于 HYPERMESH 和 OPTISTRUCT 的某卡车车架轻量化研究[D]. 西安:长安大学,2017.
- [6] CHEN Z, WANG T, ZHAO Z, et al. The lightweight design of a dump truck frame based on dynamic responses[C]. Automation and Computing (ICAC), 2012 18th International Conference on. IEEE, 2012.
- [7] 刘国刚. 重载 AGV 轻量化设计研究[J]. 制造业自动化,2014,36(10):101-103.
- [8] 徐延海. 随机路面谱的计算机模拟[J]. 农业机械学报,2007,38(1):33-36.
- [9] 宋一凡,陈榕峰. 基于路面不平度的车辆振动响应分析方法[J]. 交通运输工程学报,2007,7(4):39-43.
- [10] 谢伟东,王磊,余翊妮,等. 随机信号在路面不平度仿真中的应用[J]. 振动、测试与诊断,2005,25(2):126-130.
- [11] 郭孔辉. UniTire 统一轮胎模型[J]. 机械工程学报,2016,52(12):90-99.
- [12] 张永林,钟毅芳. 车辆路面不平度输入的随机激励时域模型[J]. 农业机械学报,2004,35(2):9-12.
- [13] 万明磊. 基于 ANSYS Workbench 的电动城市客车车架轻量化研究[D]. 青岛:青岛大学,2015.
- [14] 王登峰,毛爱华,牛妍妍,等. 基于拓扑优化的纯电动大客车车身骨架轻量化多目标优化设计[J]. 中国公路学报,2017,30(2):136-143.
- [15] 张宝生. 汽车优化设计理论与方法[M]. 北京:机械工业出版社,2000.

收稿日期:2019-06-26

(上接第 181 页)

的误差,可以通过更多的仿真数据来使取值更准确。仿真和实验的结果相差 0.1~0.2 N,其原因是实验需要固定张力盘,增加了间隙,所以实验值比仿真值略小,还有零件制造的误差因素。

由此可见,本文设计的电磁式张力控制器达到设计要求。

参考文献:

- [1] 黄尤. 地毯簇绒机械纱线张力控制系统的研究[D]. 上海:东华大学,2004:24-28.
- [2] 朱智伟,闫圣花. 络筒张力控制技术的分析研究[J]. 纺织机械,2011(5):37-38.
- [3] 葛伟亮. 电磁元件及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [4] 孙雨施,王素菊. 直流磁系统的计算与分析模型·算法·程序[M]. 北京:国防工业出版社,1987.

- [5] 何海波,刘海龙. 异步电机径向电磁力的分析[J]. 微电机,2011,44(8):26-31.
- [6] KAWASE Y, ITO S. Analysis of attractive force of pull-type single phase ac electromagnets [J]. IEEE, 1990, 26(2): 1046-1049.
- [7] 段志东. EMS 型磁悬浮列车瞬态电磁场有限元分析及其悬浮力和牵引力特性研究[J]. 微电机,2011,44(2): 6-8.
- [8] 罗玲,王燕芳,刘景林,等. 电磁阻尼器静态气隙磁场的三维仿真分析[J]. 微特电机,2009(2): 4-5.
- [9] CHEN Q, STOFFEL B. CFD simulation of a hydraulic servo valve with turbulent flow and cavitation [J]. ASME - Publications - PVP, 2004, 491(1):197-201.
- [10] 庞末红,杨伦奎,陈成峰. 基于 Maxwell 方程的电磁阀特性仿真研究[J]. 导弹与航天运载技术,2015(6): 78-83.

收稿日期:2018-12-24