

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.01.035

盘式磁滞式张力器性能的仿真与实验分析

米心馨, 张昊, 刘小龙, 崔明浩, 焦洋浩

(南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

摘要:分析了盘式磁滞式张力器的结构与原理,利用 Ansys Maxwell 对其性能进行仿真分析。设计转矩测量实验台,测得输入电流与输出转矩的关系,得出各影响因素与张力器输出转矩的关系。仿真与实验结果表明:转子转速对张力器输出转矩的影响极小,当磁极偏角为 22.5° 、气隙大小为 0.2 mm 时,盘式磁滞式张力器的使用效果最好。

关键词:络筒机;磁滞转矩;转矩传感器;纱线张力器;转矩测量

中图分类号:TS103.7 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)01-0166-04

Simulation and Experiment Analysis of Performance of Disk Hysteresis Tensioner

MI Xinxin, ZHANG Hao, LIU Xiaolong, CUI Minghao, JIAO Yanghao

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Studies the structure and principle of disk hysteresis tensioner, and simulates and analyzes the performance of the tensioner by Ansys Maxwell. The torque measuring experimental platform is designed, the relationship between the input current and the output torque is measured, and the relationship between the influencing factors and the output torque of the tensioner is obtained. The simulation and experimental results show that the rotor speed has little influence on the output torque of the tensioner. When the magnetic pole deflection angle is 22.5° and the air gap size is 0.2 mm , the disk hysteresis tensioner achieves the best effect.

Keywords: winding machine; hysteresis torque; torque sensor; yarn tensioner; torque measurement

0 引言

在络筒过程中,纱线张力过大或过小都会影响生产质量和效率,因此纱线的张力控制极为重要。

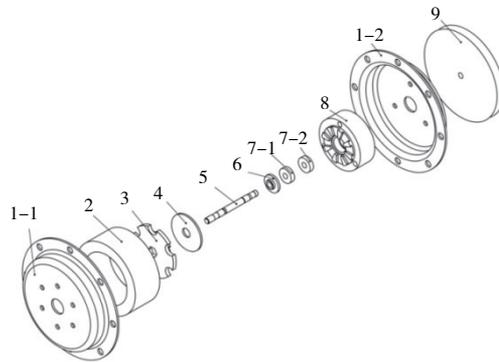
早期,纱线张力控制装置以机械式为主,其张力由与纱线直接接触时的摩擦力产生,对纱线损伤大,难以实现对张力精确的控制^[1]。随着对纱线张力控制精度的需求增大,张力控制装置朝着自动化、智能化的方向发展^[2-4]。日本某公司通过改变气泵压力维持张力恒定^[5]。美国某公司开发了一款电磁式张力器,工作时极性张力器在电磁力的吸附下与内侧的非极性张力盘共同挤压纱线产生张力。本文的盘式磁滞式张力器是利用磁性材料的磁滞特性开发的,对纱线的损伤较小,可以实现精准且自动化的控制。

1 盘式磁滞式张力器结构及原理介绍

1.1 盘式磁滞式张力器的结构

图1为盘式磁滞式张力器的结构图。线圈通电时,张力器开始工作,转子转动消耗磁场能量,

产生磁滞转矩阻碍纱线运动。张力器工作时,根据纱线所需张力的实际需求,依据电流与转矩的关系来设置电流的值。



1-1、1-2—壳体;2—线圈;3—磁芯;4—转子;5—长轴;
6—轴套;7-1、7-2—轴承;8—磁芯;9—抱线轮。

图1 盘式磁滞式张力器结构爆炸图

1.2 盘式磁滞式张力器的原理

磁场强度周期性变化时,磁场强度与磁感应强度的关系以闭合的磁滞回线呈现^[6]。盘式磁滞式张力器转子的磁滞转矩形成原理如图2所示。在线圈的作用下,两个定子磁芯形成相对极性,气

第一作者简介:米心馨(1998—),女,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为智能机电系统,2648638415@qq.com。

隙中产生脉动变化的磁场,转子转动时,最终形成与转动方向相反的磁滞转矩。当转子经过磁芯上的一对相对磁极,转子便会因此磁化,转子每转一圈转子的磁滞损耗为

$$S_H = N \cdot V \cdot \oint B dH \quad (1)$$

式中: S_H 为转子磁滞损耗; V 为转子的有效体积; N 为张力器的磁极对数; B 为磁感应强度; H 为磁场强度。

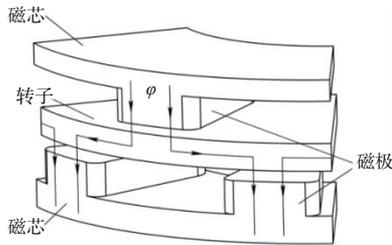


图2 盘式磁滞式张力器磁力回线

由磁滞损耗的公式可知,磁滞转矩主要与张力器的结构尺寸与工作状况有关。针对本文研究的盘式磁滞式张力器,其转子大小、磁极对数等参数已经确定,因此主要对张力器输入电流、转速、气隙大小以及磁极偏角进行仿真与实验。

2 仿真

本文利用 Maxwell 电磁仿真软件对盘式磁滞式张力器进行仿真分析^[7],即对影响盘式磁滞式张力器转子磁滞转矩的电流、转速、气隙、磁极偏角等影响因素进行仿真分析^[8]。

2.1 盘式磁滞式张力器的静态仿真

图3是盘式磁滞式张力器静态仿真分析的结果。

可以观察到磁力线依次穿过磁芯、气隙、磁滞转子、磁芯,最终在壳体中闭合形成磁回路。验证了盘式磁滞式张力器的设计原理。

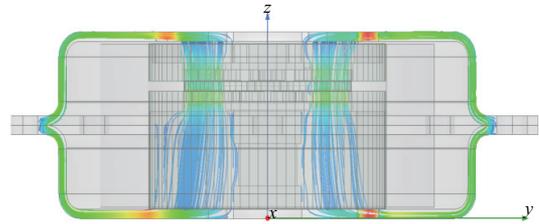


图3 盘式磁滞式张力器的磁场强度矢量图

2.2 电流与磁滞转矩的关系

图4是转速为400 r/min、磁极偏角为22.5°、气隙为0.2 mm时,电流与转子磁滞转矩的仿真关系图。当电流较小时,磁滞转矩增长缓慢;随着电流的增加,转矩增长幅度增大,与电流的大小呈近似线性关系;当电流增长到一定程度时,磁滞转矩增长趋于饱和。

2.3 转速对磁滞转矩的影响

图5是电流为50 mA、磁极偏角为22.5°、气隙为0.2 mm时,转速与转子磁滞转矩的仿真关系图。在其他条件不变的情况下,转子的转速变化对转子的磁滞转矩影响极小,可以推断出此款张力器的输出转矩不受转速的影响。

2.4 气隙对磁滞转矩的影响

张力器的转子与磁芯是非接触的,磁性材料的相对磁导率是空气的几百倍,很小的气隙也会影响张力器的输出转矩。图6为电流相同转速相同的条件下,气隙与转子磁滞转矩仿真关系图。由图6可知,磁滞转矩随气隙的增大而减小。

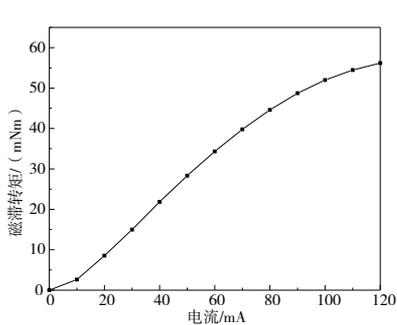


图4 仿真时电流对磁滞转矩影响

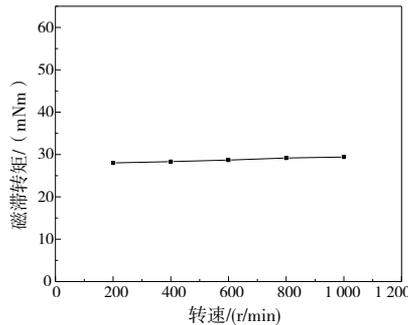


图5 仿真时转速对磁滞转矩的影响

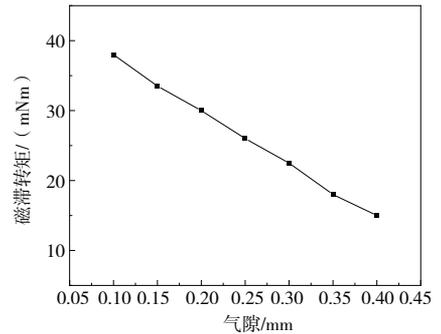


图6 仿真时气隙对磁滞转矩的影响

2.5 磁极偏角对磁滞转矩的影响

两个磁芯共有8对磁极,相邻磁极的角度为45°,因此两个磁芯磁极偏角的取值范围为0°~45°。

图7为仿真得到的磁极偏角与磁滞转矩的关系图,其曲线以22.5°的磁极偏角对称分布,当磁极偏角为22.5°时磁滞转矩最大。当磁极偏角为

0°时,两磁芯上的磁极对齐,沿切向穿过转子的磁力线最少,当两磁芯上的磁极错开 22.5°时,沿切向穿过转子的磁力线最大,磁滞转矩获得最大值。

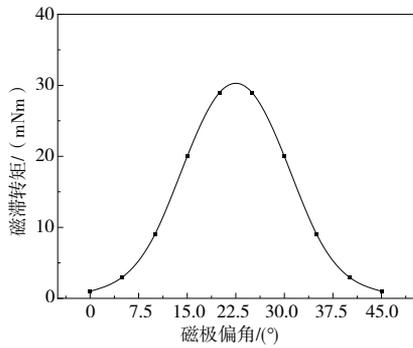


图 7 仿真时磁极偏角对磁滞转矩的影响

3 实验与分析

3.1 盘式磁滞式张力器测量装置设计

图 8 为盘式磁滞式张力器转矩测量的实验台。电机转动时,通过改变张力器的励磁线圈电流大小来调节磁场强度大小,转子产生磁滞转矩阻碍传感器的转动,便可测得张力器的输出转矩。

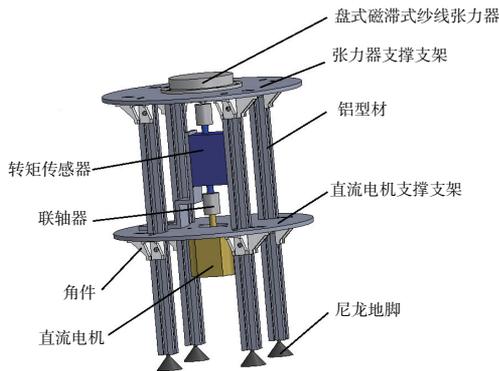


图 8 张力器转矩测量实验台

3.2 张力器电流与输出转矩的关系

考虑到磁滞闭合曲线的特殊性,电流的增大

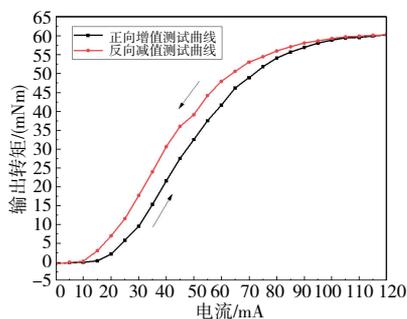


图 9 电流与输出转矩关系

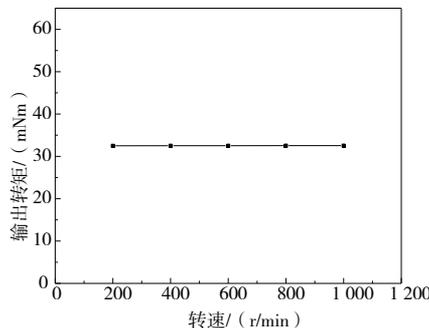


图 10 转速与输出转矩关系

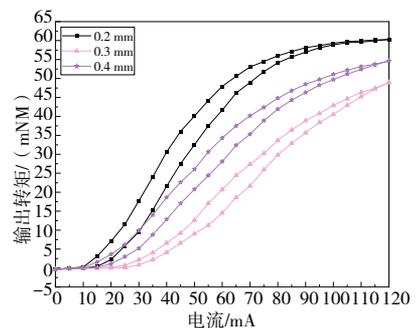


图 11 不同气隙下电流与输出转矩关系

与减小会对张力器的输出转矩有影响,设置了电流的正向增值测试与反向减值测试。正向增值测试时以 0 mA 为起点,依次增加 5 mA 至 120 mA;反向减值测试与之相反。分别记录对应的输出转矩值,重复 3 次,取其平均值绘制曲线如图 9 所示。

由图 9 可知,相同的输入电流,反向减值对应的输出转矩往往比正向增值的大。当电流过小,转子未充分磁化,输出转矩的增长缓慢;电流到一定范围后,转子的的工作磁感应强度已趋向于磁性材料的饱和磁感应强度,输出转矩增长逐渐减缓。电流过大或过小均会造成张力器工作效率低下。电流为 30~70 mA 时,电流与输出转矩值呈近似线性关系。

与 2.2 小节中仿真结果对比,电流相同时,实验时得到的转矩较大。此种现象是由于仿真时忽略了线圈的涡流损耗与轴承摩擦引起的。

3.3 张力器转速对输出转矩的影响

盘式磁滞式纱线张力器中转子的转速与纱线运行速度息息相关,因此在相同条件下改变转子转速,通过实验得出转速与输出转矩的影响关系。在正向输入电流为 50 mA 时,调节电机的转速为 200 r/min、400 r/min、600 r/min、800 r/min、1 000 r/min,记录对应的输出转矩值如图 10 所示。

由图 10 可知,随着转子转速的增加,转矩波动的变化幅度非常小,可以忽略转子转速对张力器输出转矩的影响。本实验结果与 2.3 小节中仿真得到的结果相同。

3.4 张力器的气隙对输出转矩的影响

先通过实验得出不同气隙的条件下电流与输出转矩的关系,再实验分析在相同电流的条件下不同气隙对应的输出转矩的关系如图 11 所示。

由图 11 可知,不同气隙对应的电流和转矩的关系曲线走势相同,且气隙越小,相同的电流对应的输出转矩越大。

设置电流为 50 mA,测得了相同电流下气隙与输出转矩的关系,结合 2.4 小节仿真图得到图 12。在输入电流值相同的情况下,随着气隙的增大,输出转矩减小,气隙与输出转矩值呈近似线性关系。

气隙过小对零件加工精度和装配要求过高;气隙过大,影响盘式磁滞式纱线张力器的使用性能。张力器的转子与磁芯的气隙大小可选择为 0.2 mm。

3.5 张力器磁极偏角对输出转矩的影响

本张力器的磁芯的边缘设计了 3 个均匀分布的螺钉孔,装配时可调节两个磁芯螺钉孔的相对

位置获得 3 个大小不同的磁极偏角。先通过实验得出不同磁极偏角下电流与输出转矩的关系,再进行实验分析在相同电流下不同磁极偏角与输出转矩的关系。

由图 13 可知,磁极偏角为 22.5°时的输出转矩比 7.5°和 37.5°时大得多,7.5°和 37.5°对应的输出转矩大致相同。

图 14 为输入电流为 50 mA 时,磁极偏角与输出转矩的关系图,添加 2.5 小节中的仿真曲线为对照组来分析本张力器可得到磁极偏角与输出转矩的关系。可知,7.5°与 37.5°对应的输出转矩以 22.5°为中心对称分布,22.5°取得最大的输出转矩。

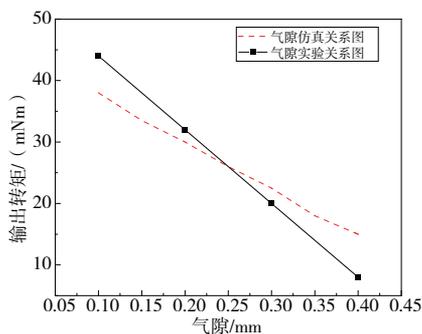


图 12 50 mA 下气隙与输出转矩关系图

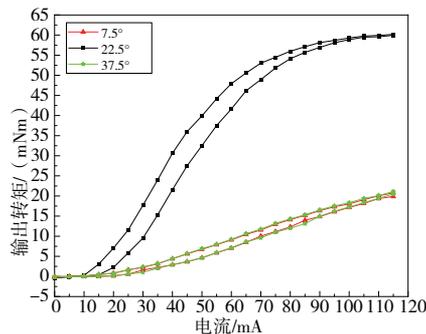


图 13 不同磁极偏角下,电流与输出转矩关系图

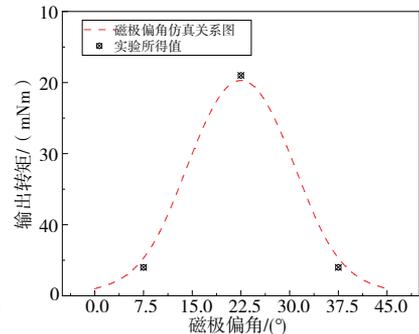


图 14 50 mA 时磁极偏角与输出转矩关系图

4 结语

张力器输出转矩随着输入电流的增大而增大,输入电流过大或者过小均会造成张力器工作效率低下。输入电流为 30~70 mA 时,电流与输出转矩值呈近似线性关系。转速的变化对张力器的影响极小。由实验可知盘式磁滞式张力器的磁极偏角调节至 22.5°,气隙大小调节为 0.2 mm 时,最大程度发挥了张力器的使用优势。

参考文献:

- [1] 陈传亮,王成群,吕文涛,等.纱线张力传感器的研究进展[J].现代纺织技术,2022,30(4):32-41.
- [2] 石钢,李海滨.永磁式磁滞纱线张力器的研究与开发[J].广西纺织科技,2009,38(4):12-14.

- [3] 林炯辉.面向纱线包覆设备的恒张力控制系统研究[D].广州:华南理工大学,2016.
- [4] 王藩.基于无刷直流电机的纱线恒张力控制系统设计[J].纺织科技进展,2022(12):23-26.
- [5] 孟祥益.一种电磁力测量校准仪的设计与应用[D].南京:南京航空航天大学,2020.
- [6] 王薪皓.磁性材料的磁结构、磁畴结构和拓扑磁结构[J].科学技术创新,2020(1):21-22.
- [7] 赵博,张洪亮.Ansoft 12 在工程电磁场中的应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [8] 王庆东.一种电磁式纱线张力器的研究与开发[D].南京:南京航空航天大学,2021.

收稿日期:2023-04-10