

学校编码: 10384
学号: 19920111152806

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

廈門大學

硕士学位论文

滚珠丝杠摩擦力矩动态检测系统的研制

The Design of the Dynamic Detection System for the Ball

Screw's Friction Torque

张志强

指导教师姓名: 江铁强 副教授

专业名称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2014 年 月

论文答辩时间: 2014 年 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

随着数控机床向高速且高精度的方向发展，滚珠丝杠的精度要求也随之升高。滚珠丝杠的摩擦力矩是丝杠性能的一个重要指标。在国内，丝杠摩擦力矩的检测还处于一个比较落后的阶段，目前中小丝杠企业大都采取靠工人手感来判定摩擦力矩是否符合标准。本文结合南靖长青精密丝杆制造有限公司的现有设备，在其基础上研制了滚珠丝杠摩擦力矩动态检测系统，实现摩擦力矩检测的自动化。

本文从滚珠丝杠传动的特点出发，分析了滚珠丝杠摩擦力矩的产生机理。基于对预紧方式的介绍，以 Hertz 接触理论为基础，计算后得到了预紧力对摩擦力矩的影响规律。通过使用简化的反向器力学模型，对滚珠进出反向器产生的摩擦力矩波动性进行了分析。最终构成了整个系统设计与验证的理论指导部分。

在系统硬件部分，基于系统的设计要求，先对整个硬件系统做了总体设计。而后分运动控制系统、伺服系统、数据采集系统和电气控制系统四个方面对系统进行详细的设计。通过对运动控制卡、伺服电机、数据采集卡、电气元件的选型，实现了运动控制系统的半闭环控制、数据采集系统的结构设计以及配电系统的电路设计。

上位机软件部分，使用 Visual Basic 语言编写，具有十分良好的人机界面。以模块化的程序设计理念，将软件划分为参数输入模块、电机控制模块、数据采集模块、数据回放/保存模块。通过使用运动控制卡、数据采集卡自带动态链接库内的函数，实现了系统的检测自动化。

最后进行了实际检测的试验，使用采集的样品数据对螺母轴向速度进行验证，通过对摩擦力矩的检测数据进行 FFT 快速傅里叶变换，得到摩擦力矩频谱图。实际采集的数据与分析计算的结果都与理论部分相符，从而验证了整个系统的功能和运行的稳定性。

关键词：滚珠丝杠；摩擦力矩；控制系统；摩擦力矩波动

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

With the development of CNC machine tools to high speed and high precision, accuracy requirements of the ball screw have also increased. The friction torque is an important index to ball screw. In our country, the detection of friction torque is still in a relatively backward stage, small and medium-sized enterprises determine whether the friction torque is in accordance with the standard by workers feel mostly. So this thesis developed a set of ball screw friction torque dynamic detection system with the existing equipment in Nanjing ChangQing precision screw manufacturing Co., Ltd, it realizes the measuring process autoimmunization.

In this paper, with the introduce of the transmission characteristics of ball screw, the generation mechanism of ball screw friction torque has been analyzed. Based on the pre-load mode of ball screw and Hertz contact theory, the effect of pre-load on the friction torque can be found. By using a simplified mechanical model of return system in ball screw, the influence of collisions between ball and return tube on friction torque has been analyzed. At last, these constitute the theoretical guidance part to the design and verification of the whole system.

In the hardware part, based on requirements of the system, the overall design of the system has been done. Then this these introduced the design of the motion control system, servo system, data acquisition system, electrical control system. Through the selection of the motion control card, servo motor, data acquisition card, electrical components, semi closed loop motion control system, structure design of data acquisition system, and circuit design of power distribution system have been completed.

In the software part, with the use of Visual Basic language, the software has a very good man-machine interface. According to the modular program design method, the software is divided into four modules: parameter input module, motor control module, data acquisition module, data playback / storage module. Through the use of

dynamic link library of Motion control card and data acquisition card, the system realizes the automatic detection.

Finally, in the actual detection part, axial velocity of the nut has been validated with the actual data, and by using the FFT Fourier transform to the actual data, the friction torque fluctuation has been analyzed. The actual data and calculation results are consistent with the theory, this verify the function and the stability of the detection system.

Keywords: Ball screw; Friction torque; Control system; Friction torque fluctuation

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
目 录	V
CONTENTS	VIII
第一章 绪论.....	1
1.1 课题研究的目的及意义.....	1
1.2 滚珠丝杠摩擦力矩动态检测系统的研究现状.....	2
1.3 本课题研究内容.....	3
第二章 滚珠丝杠摩擦力矩影响因素.....	5
2.1 滚珠丝杠介绍.....	5
2.1.1 滚珠丝杠副.....	5
2.1.2 滚珠丝杠的传动特点.....	6
2.2 摩擦力矩产生机理.....	7
2.3 滚珠丝杠的预紧.....	8
2.3.1 滚珠丝杠的预紧.....	8
2.3.2 预紧力大小的确定.....	10
2.3.3 滚珠丝杠预紧力对摩擦力矩的影响.....	13
2.4 摩擦力矩波动性分析.....	15
2.4.1 滚珠进入反向器引起的摩擦力矩波动性分析.....	15
2.4.2 滚珠进入反向器的频率计算.....	15
2.5 本章小结.....	17
第三章 滚珠丝杠摩擦力矩动态检测系统的硬件部分.....	19
3.1 滚珠丝杠摩擦力矩动态检测系统硬件部分总体设计方案.....	19
3.1.1 滚珠丝杠摩擦力矩检验原理.....	19
3.1.2 总体设计要求.....	20
3.1.3 总体设计.....	20

3.2 运动控制系统.....	21
3.2.1 运动控制系统的组成.....	22
3.2.2 本系统运动控制方案的选择.....	22
3.2.3 运动控制卡的选择.....	23
3.2.4 伺服电机的选择.....	24
3.2.5 运动控制系统方案的实现.....	24
3.2.6 运动控制系统的 PID 调试.....	28
3.3 数据采集部分.....	29
3.3.1 摩擦力矩的测量.....	29
3.3.2 数据采集卡的选择.....	30
3.4 电气控制系统设计.....	31
3.4.1 实现的功能.....	31
3.4.2 常用的电气元件.....	31
3.4.3 配电系统设计.....	34
3.5 本章小结.....	36
第四章 滚珠丝杠摩擦力矩动态检测系统的软件部分.....	37
4.1 软件功能介绍.....	37
4.2 软件测量工作流程.....	37
4.3 软件的模块化结构.....	39
4.3.1 参数输入模块.....	40
4.3.2 电机控制模块.....	42
4.3.4 数据采集模块.....	47
4.4 本章小结.....	50
第五章 数据处理及波动性分析.....	51
5.1 数据采集实验.....	51
5.2 速度验证.....	53
5.3 频谱分析.....	55
5.4 本章小结.....	57
第六章 总结与展望.....	59
6.1 总结.....	59
6.2 展望.....	60

参考文献.....	61
附 录.....	65
致 谢.....	66
硕士期间的科研成果.....	67

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

ABSTRACT In Chinese.....	I
ABSTRACT.....	III
CONTENTS In Chinese.....	V
CONTENTS.....	VIII
Chapter1 Introduction.....	1
1.1 Objective and Significance of the Research.....	1
1.2 Present Research Status of Ball Screw Detection System.....	2
1.3 Major Research Contents.....	3
Chapter2 Factors influence the Friction torque.....	5
2.1Ball Screw Introduction.....	5
2.1.1 Ball Screw.....	5
2.1.2 The Transmission Characteristics of Ball Screw.....	6
2.2 The generating mechanism of friction torque.....	7
2.3 Preload Force of Ball Screw	8
2.3.1 Preload of Ball Screw.....	8
2.3.2 Calculation of Preload Force.....	10
2.3.3 The Effect of Preload to Friction Torque.....	13
2.4 Analysis of friction torque fluctuation.....	15
2.4.1 The Effect of the Return Tube to Friction Torque.....	15
2.4.2 The Frequency of the ball enter the Return Tube	15
2.5 Summary of this chapter.....	17
Chapter3 The Hardware Design of the System.....	19
3.1The General Design Scheme of the Hardware.....	19
3.1.1 The Measure Principle of Friction Torque	19
3.1.2 The General Design Requirements.....	20

3.1.3 General Design.....	20
3.2 Motion Control System.....	21
3.2.1 The Composition of Motion Control System.....	22
3.2.2 Motion Control Scheme.....	22
3.2.3 Motion Control Card.....	23
3.2.4 Servo Control System.....	24
3.2.5 The Realization of Motion Control System.....	24
3.2.6 PID Debugging of Motion Control System.....	28
3.3 The Part of Data Acquisition.....	29
3.3.1 Measurement of Friction Torque.....	29
3.3.2 Data Acquisition Card.....	30
3.4 The Design of Electrical Control System.....	31
3.4.1 Function.....	31
3.4.2 The Common Electrical Elements.....	31
3.4.3 Design of Power Distribution System.....	34
3.5 Summary of this chapter.....	36
Chapter4 The Software Design of the System.....	37
4.1 Introduction of the Software Function.....	37
4.2 Measurement Process of the Software	37
4.3 The Modular Structure of Software.....	39
4.3.1 The Parameter Input Module.....	40
4.3.2 The Motor Control Module.....	42
4.3.4The Data Acquisition Module.....	47
4.4 Summary of this chapter.....	50
Chapter5 Data processing.....	51
5.1 The Actual Measure Test.....	51
5.2 Speed Checking.....	53
5.3 Spectral Analysis.....	55
5.4 Summary of this chapter.....	57
Chapter6 Conclusion and Prospect.....	59
6.1 Conclusion.....	59

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库