

学校编码: 10384

分类号_密级_

学号: 19920061151834

UDC_

厦 门 大 学

工学硕士学位论文

基于 PMAC 的五轴数控弯丝机系统的研发

Research on the System of 5-Axis CNC Wire Bending
Machine Based on PMAC

叶志坚

指导教师姓名: 姚 斌 教授

专 业 名 称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2009 年 06 月

论文答辩时间: 2009 年 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2009 年 6 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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,该学位论文为数控弯丝机课题组的研究成果,获得厦门市科技局的资助,在科学楼智 335 房间能装备实验室实验室完成。

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

摘 要

在五金制造行业中，金属线材成形的传统加工一般是靠人力操作专门的模具，这种生产方式劳动强度大、自动化程度低、效率低而且工件加工精度不高。另外，如果产品的品种较多，这种方式要经常更换模具，难以满足即时制造的要求。数控弯丝机正是为了满足多品种高精度的加工，利用数控技术和可换位模具，高效高质量地实现线材制品的自动加工装备。

本文的研究工作主要包含以下三方面的内容：

第一、在机械方面，根据金属线材的成形特点，给出了整台机器的机械结构模块和运动过程，并进行了线材成形施力点分析；针对施力点的变化确定了机床轴数和联动轴数，并确定了每个轴所需要的电机及相应的减速机型号。

第二、在系统软件方面，首先在下位机编写了零件加工的运动程序和用于逻辑控制的 PLC 程序。在上位机编写了人机交互程序，包括参数设置、参数显示、数控指令格式、加工文件读取和误差补偿模块。

第三、在系统硬件方面，采用高性能伺服控制器 PMAC 作为控制核心，结合工控机和伺服电机，构建了系统的硬件控制平台。

本课题的意义和创新之处在于其提出了一种完全不同于传统的线材加工方法，这种方法大大提高了线材加工的效率 and 精度。而本文所开发的应用软件人机交互界面友好、操作简单、功能齐全，大大提高了线材加工工艺效率，缩短了产品的上市时间，增强了制造柔性。

关键词：金属线材，折弯，PMAC，数控系统

ABSTRACT

In the metal manufacturing industry, the traditional wire forming is operated manually with special die. This mode of production is labor-intensive, inefficient and inaccurate. In addition, frequency of varying the molds for different types of workpieces makes this method become gradually difficult to meet the requirement of the real-time manufacturing. In this paper, the research is to adapt variety of high-precision processing, taking advantage of CNC technology and alterable molds to make the wire forming efficient and high-quality. The following three aspects are contained in this paper.

Firstly, on the mechanical part, the whole mechanical structure is designed according the features of the wire and the forcing point on the wire is analysed. Based on it, the number of total axis and the coupling axis is ascertained. Moreover, according to the analysis of the forces, the model of the servo motors and the reducers are ascertained.

Secondly, on the software of the control system, on one hand, the motion programs and the PLC programs are written to the subordinate computer PMAC, on the other hand, the human-computer interaction program, including the modules of parameter settings, parameters display, numerical control command format, document read and error compensation are developed in the supervisory computer.

Thirdly, high-performance servo controller PMAC is used as the main controller, combined with industrial computer and servo motor which works under the torque control mode, to build a control platform hardware.

The significance of the subject and innovation lie in its complete difference from a traditional wire processing method, which greatly enhances the efficiency of wire processing and accuracy. The application software developed in this paper are user-friendly with complete functions, greatly improving the efficiency of wire bending process, shortening the product time to market and increasing manufacturing flexibility.

Keywords: Metal wire, Bend, PMAC, CNC system

目录

摘 要	I
ABSTRACT	II
第 1 章 绪论	5
1.1 数控技术发展的历史及趋势	5
1.2 开放式数控系统的概念	6
1.3 国内外开放式数控系统的研究现状	6
1.4 开放式数控系统的实现途径	7
1.5 课题的来源及意义	8
1.6 本文的工作	8
第 2 章 线材折弯机的机械结构组成	10
2.1 设备的功能	10
2.2 设备模块组成	10
2.3 折弯和转臂模块的结构	11
2.4 零件的加工过程及原理	12
2.5 折弯功率计算	16
2.6 剪切功率计算	17
2.7 本章小结	18
第 3 章 数控系统软件开发	20
3.1 软件模块组成	20
3.2 运动控制器与实时控制模块	21
3.3 人机交互模块的开发	38
3.4 本章小结	46
第 4 章 系统硬件架构的搭建	47
4.1 总体硬件架构	47
4.2 伺服电机	47
4.3 导电导气滑环	56
4.4 I/O 电路的设计	57
4.5 本章小结	58

第 5 章 结论和展望	59
5.1 结论	59
5.2 展望	60
参考文献	61
攻读学位期间发表的论文	64
致 谢	65
附录	66

厦门大学博硕士学位论文摘要库

CONTENT

ABSTRACT	I
CHAPTER 1 Introduction	5
1.1 The history and tendency of NC technology.....	5
1.2 The concept of open CNC system	5
1.3 Research of open CNC system at home and abroad	6
1.4 The approach of open CNC system	7
1.5 The source and significance of the subject.....	8
1.6 Research in this paper	8
CHAPTER 2 The structure of the machine	10
2.1 Functions of the machine.....	10
2.2 Modules of the machine.....	10
2.3 The structure of bending arm and tumbler.....	11
2.4 Working process of the machine.....	12
2.5 Calculation of the power for bending.....	15
2.6 Calculation of the power for cutting.....	17
2.7 Summary of this chapter	18
CHAPTER 3 Development of the CNC system	20
3.1 Software module.....	20
3.2 Motion controller and real-time mode control	21
3.3 Development of Human-Computer Interaction module	38
3.4. Summary of this chapter	46
CHAPTER 4 Setup of the system hardware architecture	47
4.1 General system hardware architecture.....	47
4.2 The servo motors.....	47
4.3 The electric and pneumatic slip ring.....	56
4.4 Design of the I/O circuit.....	57
4.5 Summary of this chapter	58
CHAPTER 5 Conclusion and outlook	59
5.1 Conclusion	59
5.1 Outlook.....	60
References	61

Paper published	64
Acknowledgement	65
Appendix	66

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第1章 绪论

计算机数控(CNC)技术是集微电子技术、计算机技术、信息处理技术、自动检测技术、自动控制等技术于一体的现代制造技术,是 CAD/CAM, FMS, CIMS, FA 等先进制造技术的基础,它的产生和发展进一步地推动了机械制造业向自动化、柔性化、集成化方向发展。随着科学技术、产品市场、生产结构等方面的快速变化,数控系统应具有更强的模块化特征和软硬件重构的能力,以满足不同的应用需求,即要求系统具有开放性,从根本上解决当今复杂多变的市场需求与现有数控系统专一固定的封闭式结构之间的矛盾。

1.1 数控技术发展的历史及趋势

数控技术是现代制造技术的基础,它集合了计算机,自动控制,机械,电子,测量技术等多个领域的知识,是一门综合技术^[1-2]。

数字控制是相对模拟控制而言的,数字控制中的信息量是数字量,而模拟控制中的信息量是模拟量。它经历了以下四个发展阶段:

1). 硬件数控阶段(1952-1970): 特点是利用逻辑电路来实现其控制功能;

2). 计算机数控系统的发展和完善阶段(1970-1985): 特点是以计算机为主体,原来由硬件实现的功能逐渐改为由软件实现;

3). 高速高精度 CNC 数控系统的开发与应用阶段(1985-今): 特点是高速处理数据能力确保了插补、加减速控制等的连续处理;在这个阶段,传统的 G 代码虽然得到普遍应用,但是 G 代码本身信息量无法满足工艺要求等问题越来越突出,因此欧共体于 1997 年提出 STEP^[3-4]标准,实现了计算机辅助设计 CAD、计算机辅助制造 CAM、计算机辅助工艺规划 CAPP 与 CNC 之间的无缝连接,大大提高数控机床的加工效率;

4). 开放式 CNC 的开发与应用阶段(1994-今): 特点是系统具有开放式体系结构,使得数控系统具有更好的通用性、柔性、扩展性,并向智能化,网络化方向大力发展。

1.2 开放式数控系统的概念

IEEE(国际电气和电子工程师协会)的对开放式数控系统的定义是^[5]:“开放式系统具有这样的功能,它们完全能使应用程序在不同厂商的各种平台上运行,能支持与其它应用程序的交互操作。”根据此定义,开放式数控系统应具有以下的特点^[1]:

- 1). 开放性:提供标准化基础平台和接口,允许集成不同功能的软硬件模块;
- 2). 可移植性:不同应用程序模块可在不同供应商提供的系统平台上运行,系统平台也可在不同类型、不同性能的硬件平台上运行;
- 3). 扩展性:系统功能的扩充仅表现为特定功能模块的装载与卸载;
- 4). 相互操作性:提供标准化的接口、通讯和交互模型。不同应用程序模块通过初始化应用程序接口进行交互,保持平等的相互操作能力,能协调地工作;
- 5). 控制系统采用开放式体系结构将导致新一代控制器的产生,并成为未来制造业一大支柱。因此,欧美及日本等发达国家都相继进行了大量投入和研究。

1.3 国内外开放式数控系统的研究现状

现今市场上的数控系统如 FANUC, SIEMENS 等,都是采用一种封闭式的体系结构,即组成系统的硬件模块软件模块由各个厂家自行设计,系统模块之间的交互方式和通讯方式各不相同,系统之间互不兼容。这种系统技术成熟,稳定性好,但随着技术的进步,其缺陷也越来越暴露出来^[7-9]:

- 1). 各控制系统互连能力差,影响了系统相互集成;
- 2). 不同风格的操作方式使用户培训费用和周期变长;
- 3). 专用件的大量使用,给数控设备的维护带来许多不便;
- 4). 专用的软硬件使得系统换代升级不可行。

系统的封闭性使得其开发和升级难度很大,造成数控设备制造商对系统供应商的依赖,难以将自己的工艺经验,专门技术集成到系统中,不利于提高主机产品的竞争力。

总之,数控系统的这一现状已难以适应当今制造业的市场变化与竞争,也不能满足现代制造业向信息化、敏捷制造模式发展的要求。为解决封闭式体系结构数控系统存在的问题,近年来,西方各工业发达国家相继提出了向规范化、标准

化的方向发展，设计开放式体系结构数控系统的问题，如美国的 NGC 计划，日本和欧洲提出的 OSEC 及 OSACA 计划等。

我国在开放式数控系统的构建方面也进行了积极的探索和研发。国内已有开放式控制系统四种：华中 I 型，中华 I 型，航天 I 型和蓝天 I 型。国内的开放式数控系统各有特点，但从数控系统的发展趋势来看，它们还不具备开放式控制系统的本质特性，仍有许多改进之处。

1.4 开放式数控系统的实现途径

综上所述，随着计算机技术的飞速发展，采用 PC 微机开发开放式数控系统已成为数控系统技术发展的潮流，也是国内外开放式数控系统研究的一个热点，PC 微机化的开放式数控系统有 3 种实现途径^[10-11]：

1). PC 机+数控专用模板

即在 PC 机上嵌入数控专用模板，该模板具有位置控制功能、实时信息采集功能、输入输出接口功能和内装式 PLC 单元等。这种结构形式使整个系统可以共享 PC 机的硬件资源，利用其丰富的支撑软件直接与网络 CAD/CAM 系统连接，与传统的 CNC 系统相比，具有软硬件资源的丰富性、透明性和通享性，便于新技术升级换代。但这种数控系统的开放性只限于 PC 微机部分，只能说是有限的开放，其专业的数控部分仍处于封闭状态。

2). PC 机+可编程多轴运动控制器

这种基于开放式可编程运动控制器的系统结构以通用微机为平台，以 PC 机标准插件形式的开放式可编程运动控制器为控制核心。通用 PC 机负责如数控程序编辑、人机界面管理等功能，运动控制器负责设备的运动控制和逻辑控制。这种运动控制器以运动子程序的方式解释执行数控程序，以 PLC 子程序方式实现设备逻辑控制，支持用户的开发和扩展，具有上、下两级的开放性。美国 DeltaTau 公司的 PMAC 即 Programmable Multi-axes Controller) 是这种运动控制器的典型代表。其拥有自身 CPU，同时开放包括通信端口、存储结构在内的大部分地址空间，具有灵活性好、功能稳定、可共享计算机所有资源等特点。

3). 纯 PC 型即完全采用 PC 的全软件形式的数控系统

由于存在着操作系统的实时性、标准统一性及系统稳定性等问题，这种系统目前正处于探求阶段，还没有大规模投入到实际的应用中。

总体而言，基于 PC 和多轴运动控制器的开放式数控系统，是当前最为理想的开放式数控系统。PC 机处理非实时部分，实时控制由插入 PC 的多轴运动控制器来承担。本课题采用 PC 机+可编程运动控制器方式来设计开发，采用 Delta Tau 公司生产的多轴运动控制器 PMAC 为核心开发开放式数控弯丝机，构造了系统的硬件结构及软件体系。

1.5 课题的来源及意义

本课题为厦门市科技局创新项目(项目号：3502ZZ20071099)，与厦门锻压机床有限公司合作开发。

在五金制造行业中，线材弯形制品的市场空间越来越大，比如汽车的座椅骨架、排气管挂钩，铁艺家具、卫浴及装饰，超市的手推车等等。但是我国在此方面的生产技术仍然比较落后，设备和工艺普遍陈旧，主要以人工手动操作为主，且自动化水平不高，导致生产效率低下，精度不高。而且传统的加工工艺在特定的线材成形时都需要专门的模具设备来实现，不利于多品种的生产方式，越来越难以满足即时制造的要求。本论文的研究内容正是为了适应多品种、高效率、高精度少批量的自动化生产方式开展的，利用数控技术和可换多位模具，在短时间内实现多品种线材制品的加工，真正实现柔性制造。

1.6 本文的工作

本文最终要实现的目标是构建一套用于完成线材折弯的开放式数控系统，解决传统线材折弯加工效率低，工件精度不高的缺陷。由于采用了 IPC+可编程运动控制器方式的控制策略，因此本文的工作亦围绕这种策略进行展开，主要包括以下几个方面：

1). 确定设备的机械模块

根据设备的加工对象，提出了设备的机械模块及工作原理，并对其中主要模块的结构进行了深入的分析。

2). 编写运动控制程序模块

首先将加工零件分为两大类：普通折弯类和弹簧类零件，并通过对以上两大类零件的分析编写相应的运动程序模块。

3). 编写 PLC 程序模块

针对本设备，设置相应的逻辑控制功能，实现折弯头的上升下降限位，换模装置的两端限位及原点开关等功能，利用内装的软 PLC 模块编写相关程序。

4). 编写人机交互界面模块

该部分主要包括系统运行参数设置，运动参数实时显示，加工文件的数据格式定义与读取，误差补偿的设置等。

5). 搭建数控系统的开发平台

这部分工作主要涵盖了运动控制器 PMAC 的选用，伺服电机的选用，信号线的定义，滑环的选型及逻辑控制 I/O 口输入输出电路的连接。

第2章 线材折弯机的机械结构组成

2.1 设备的功能

本设备的开发是为了实现对 $\phi 12-25\text{mm}$ 的不锈钢线材进行各种形状的折弯，以满足快速变化的线材加工市场，缩短线材的加工时间。本设备能加工的工件形状种类分为普通折弯类和弹簧类两种零件，如图 2-1 所示：

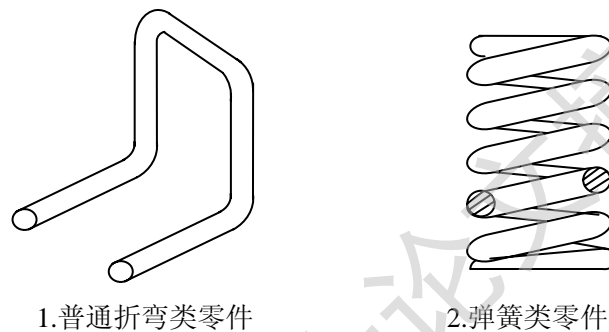


图 2-1 设备的加工对象

所谓普通折弯类零件指的是构成零件的曲线只有直线和圆弧，而构成弹簧类零件的曲线是各种满足相应数学关系的螺旋线。

这两类零件的外形和尺寸不是一成不变的，用户可以通过在控制界面中输入不同的加工参数改变每类零件的形状和具体尺寸，比如：线材折弯的长度、折弯半径，弹簧的螺距、半径和长度等都是可以改变的。

2.2 设备模块组成

根据设备要加工的对象和加工过程，将设备机械部分分为图 2-2 所示的模块：

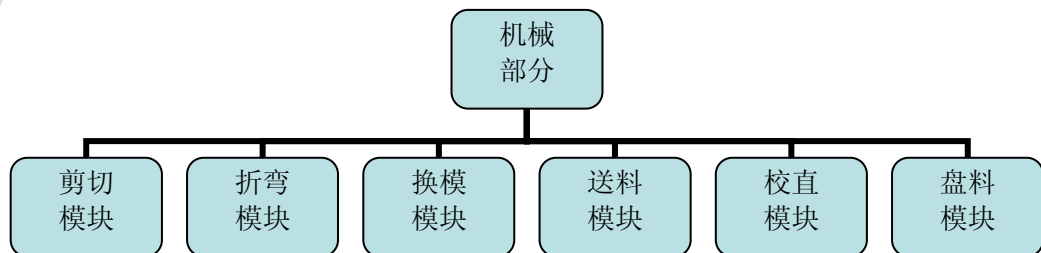


图 2-2 设备机械模块组成

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.

厦门大学博硕士学位论文摘要库