

学校编码: 10384  
学号: 200429013

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

转塔冲床数控系统及其它关键技术的设计与研究  
Design and Research of CNC System for Turret Punch  
Press and Other Key Technology

王 飞

指导教师姓名: 姚 斌 副教授

专 业 名 称: 机械制造及其自动化

论文提交日期: 2007 年 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2007 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：                    日期：        年        月        日

导师签名：                    日期：        年        月        日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

冲裁成形加工以其效率高、成本低和易实现批量生产等优点，在五金行业中得到了广泛应用。集柔性制造单元理念的转塔冲床作为当今冲裁成形加工的先进制造技术手段之一，更得到了迅速发展。但是转塔冲床的核心技术——数控系统，目前仍然主要依靠国外进口，因此开展转塔冲床的数控系统的研究具有十分重要的意义。论文根据开放式数控系统技术理念，以 PC+运动控制卡为核心，通过对转塔冲床冲裁薄板工件的工艺过程和加工特性分析，设计研发了转塔冲床的数控系统，并进行了外围控制电路设计。论文主要包括以下几方面的工作内容：

一、根据开放式数控系统的理念，分析讨论了当前数控系统的主要构成，确定了论文所采用的数控系统主体框架，详细地介绍了数控系统中的关键技术——运动伺服系统的控制原理。

二、针对开发的由 DXF 获取零件图形几何信息而自动生成 G 代码软件模块中的一些问题进一步进行优化设计，增强了软件的功能。实现了操作界面的复杂图元的分区抓捕及代码生成，方便了刀位轨迹优化，加强了软件模具库管理。

三、分析转塔冲床的工作特性，设计了控制系统外围的信号控制回路，主要包括操作面板的设计、气动控制单元的设计、传感器的选用以及其他通用输入输出的设计。

四、根据通用的 G 代码标准并结合国外著名厂家产品的 G 代码规范，设计了此数控系统用到的 G 代码；在 Windows xp 操作系统及 VB 平台上，开发了数控系统的控制软件，整个软件的开发贯穿了模块化设计思想，方便软件的开发、升级和维护；完成 G 代码验证、加工图形实时显示、多种方式加工等功能。

五、采用固高运动平台，按照所分析设计的数控系统方案搭建试验平台，并对所开发的系统进行测试和调试。

**关键词：**冲裁；转塔冲床；数控系统；开放式

## ABSTRACT

Machining of punching and shearing gets wide application for its high quality, low cost and easy access to mass production. Nowadays, as one of the advanced manufacture technology for punching and shearing, turret punch press, which integrates the thoughts of flexible manufacturing unit, develops more rapidly than ever before. But the key technology core of turret punch press- CNC system still depends on import from other developed countries, so the study on CNC system of turret punch press is important significant. According to the thought of open numerical control system technology, based on the technology of PC and movement control card, this paper analyses the technical process and the machining characteristic of turret punch press punching a sheet of workpiece, develops and designs the core of turret punch press -CNC system, and designs the main peripheral control circuits. The contents of this paper are as follows:

1. According to the thought of open numerical control system, the paper analyses and introduces the main constitution of the recent numerical control system, and confirms the main frame of numerical control system we used, explains the control principle of the movement servo system in detail which is the key technology of numerical control system.

2. Aiming at some of the problems in the G-code software modules created by the geometrical information obtained from the DXF files, some optimization work is done to strengthen the function of the software, which is able to capture the complex graphic units for generating the G-code, make the cutting location (CL) optimization more convenient, and strengthen the management on the die database of software.

3. The paper analyses the working characteristics of turret punch press, designs the main peripheral circuit of the control system, which mainly includes the design of the operational panel, pneumatic control units, and other current about input and output devices.

4. Based on the general G-code standard and the other criterions used in the foreign well-established factories, the paper designs the particular G-codes used in developed CNC system. A control software of CNC system is developed based on the platform Windows xp system and Visual Basic. By using the modularized technology, the software is capable to complete the work of testing the G-code、 displaying the real-time graphics and machining with many kinds of process, which facilitate the software's development, update and maintenance.

5. With the Googol motion control platform, an experimental platform is built in term of the CNC system project as designed, with the functions to test the system and corrects defects of the system.

**Keywords:** Punching and shearing; Turret punch press; CNC system; Open-architecture

## 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....              | 1  |
| 1.1 数控系统概述.....                  | 1  |
| 1.2 转塔冲床概述.....                  | 3  |
| 1.3 课题意义及来源.....                 | 6  |
| 1.4 本课题的主要工作内容.....              | 6  |
| <b>第二章 控制系统原理及方案的提出</b> .....    | 8  |
| 2.1 伺服主轴式转塔冲床的工作原理.....          | 8  |
| 2.2 数控系统方案的提出.....               | 9  |
| 2.3 运动伺服控制原理.....                | 11 |
| 2.4 运动控制卡.....                   | 19 |
| 2.5 本章小结.....                    | 23 |
| <b>第三章 数控冲裁加工自动编程的优化设计</b> ..... | 24 |
| 3.1 图形操作界面优化.....                | 24 |
| 3.2 可操作性的优化.....                 | 25 |
| 3.3 模具库管理.....                   | 26 |
| 3.4 刀位轨迹优化方法.....                | 27 |
| 3.5 本章小结.....                    | 29 |
| <b>第四章 转塔冲床输入输出单元设计</b> .....    | 30 |
| 4.1 操作面板设计.....                  | 30 |
| 4.2 气动控制单元设计.....                | 31 |
| 4.3 轴限位传感器.....                  | 34 |
| 4.4 其它传感器.....                   | 35 |
| 4.5 本章小结.....                    | 35 |
| <b>第五章 控制系统的软件设计</b> .....       | 36 |
| 5.1 软件需求分析.....                  | 36 |
| 5.2 软件的流程.....                   | 37 |
| 5.3 软件模块的划分.....                 | 39 |
| 5.4 G 代码设计.....                  | 39 |
| 5.5 转塔冲床的坐标系.....                | 45 |
| 5.6 软件的编码和实现.....                | 49 |
| 5.7 数控系统的实时性分析.....              | 53 |
| 5.8 本章小结.....                    | 55 |
| <b>第六章 测试实验</b> .....            | 56 |
| 6.1 实验平台.....                    | 56 |



|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 6.2 实例操作.....         | 59        |
| 6.3 本章小结.....         | 61        |
| <b>第七章 结论和展望.....</b> | <b>62</b> |
| 7.1 开发总结.....         | 62        |
| 7.2 展望.....           | 63        |
| 参考文献.....             | 64        |
| 致谢.....               | 66        |
| 硕士期间发表的论文.....        | 67        |

厦门大学博硕士论文摘要库

## CONTENTS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Chapter 1 Preface .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| 1.1 Introduction to CNC system.....                                  | 1         |
| 1.2 Introduction to turret punch press.....                          | 3         |
| 1.3 Sense and Origin of this paper .....                             | 6         |
| 1.4 Content of this paper.....                                       | 6         |
| <b>Chapter 2 CNC principle and the control system project.....</b>   | <b>8</b>  |
| 2.1 Principle of all-servo turret punch press.....                   | 8         |
| 2.2 Brings forward the project of CNC system we used .....           | 9         |
| 2.3 Principle of motion servo control.....                           | 11        |
| 2.4 Motion control card.....   | 20        |
| 2.5 Summary of this chapter.....                                     | 23        |
| <b>Chapter 3 Optimum design of the auto-programming software....</b> | <b>24</b> |
| 3.1 Optimum design of figure and operation interface.....            | 24        |
| 3.2 Operable optimization.....                                       | 25        |
| 3.3 Management of die library.....                                   | 26        |
| 3.4 Method to optimize cutting track.....                            | 27        |
| 3.5 Summary of this chapter.....                                     | 29        |
| <b>Chapter 4 Design of I/O.....</b>                                  | <b>30</b> |
| 4.1 Design of operation panel.....                                   | 30        |
| 4.2 Design of pneumatic control unit.....                            | 31        |
| 4.3 Axis limited sensors.....  | 34        |
| 4.4 Other sensors.....   | 35        |
| 4.5 Summary of this chapter.....                                     | 35        |
| <b>Chapter 5 Design of control software.....</b>                     | <b>36</b> |
| 5.1 Requirement analysis of software.....                            | 36        |
| 5.2 Software flaw.....   | 37        |
| 5.3 Partition of software module.....                                | 39        |
| 5.4 Design of G-code.....  | 39        |
| 5.5 Reference frame of the turret punch press.....                   | 45        |
| 5.6 Coding and development of software.....                          | 49        |
| 5.7 Real-time capability analysis of CNC system.....                 | 53        |
| 5.8 Summary of this chapter.....                                     | 55        |
| <b>Chapter 6 Test and experiments.....</b>                           | <b>56</b> |
| 6.1 Test platform.....   | 56        |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.2 Operation example.....                   | 59        |
| 6.3 Summary of this chapter.....             | 61        |
| <b>Chapter 7 Conclusion and outlook.....</b> | <b>62</b> |
| 7.1 Conclusion.....                          | 62        |
| 7.2 Outlook.....                             | 63        |
| <b>References.....</b>                       | <b>64</b> |

厦门大学博硕士论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 数控系统概述

#### 1.1.1 数控系统的产生与发展

随着科学技术的发展以及各国之间的军备竞赛的需求，机械产品的性能、精度和效率日趋提高，因此对加工机械产品零部件的生产设备—机床也提出了相应的要求。在这种背景下，出现了数控机床，而数控系统就是数控机床的核心<sup>[1]</sup>。

当今数控系统正朝着以下几个方向发展<sup>[2]</sup>：

- (1) 数控系统小型化、智能化。
- (2) 运算高速化，控制高精度化。
- (3) 数控系统软件化。
- (4) 数控系统模块化、通用化。
- (5) 数控系统的可靠性将更高。

#### 1.1.2 数控系统的结构及分类

数控系统是机床实现自动加工的核心。其基本组成包括：运算器，存储器，运动控制单元，I/O 单元。运算器和存储器是数控系统的核心，负责程序存储及运行。运动控制单元是连接电机运动和程序执行的纽带，运动控制单元根据脉冲信号可以控制电机的启停、速度快慢，可以处理限位触发、电机运动异常等情况，可以根据程序代码的命令控制电机完成相应的动作，可以完成差补运动、开环或者闭环控制。I/O 单元是控制传感器信号的输入或者开关量信号的输入输出。

根据硬件的不同结构可将数控系统分为以下两类<sup>[3]</sup>：

##### (1) 专用型数控系统

在数控系统发展的初期，各个厂家分别独立开发出自己的一整套数控系统，这包括电路设计，软件设计，接口定义以及周边辅助器件设计。典型的生产厂家包括日本的 FANUC、Mitsubishi（三菱）、德国的 Siemens（西门子）、西班牙的

Fagor（发格）、意大利的 Fedia（斐迪亚）等。这类数控系统的典型特点是各个厂家之间的产品模块不通用。

## （2）开放式数控系统<sup>[4][5]</sup>

传统的数控系统是一种专用封闭式系统，存在着各个厂家的产品之间以及与通用计算机之间兼容性差，维修、升级困难，维修费用高等问题。进入 20 世纪 90 年代，各国争先研发开放式数控系统。开放式体系结构采用通用计算机（PC）及其配套模块建立一个开放式体系结构系统，使控制系统设计标准化、模块化、进而实现系列化、可兼容、可扩充和易升级换代，大大提高了资源共享，降低了系统的研发和制造费用，缩短了研发周期，提高了用户设备和资源的利用率以及数控产品的市场竞争力。结构原理图如图 1-1 所示。

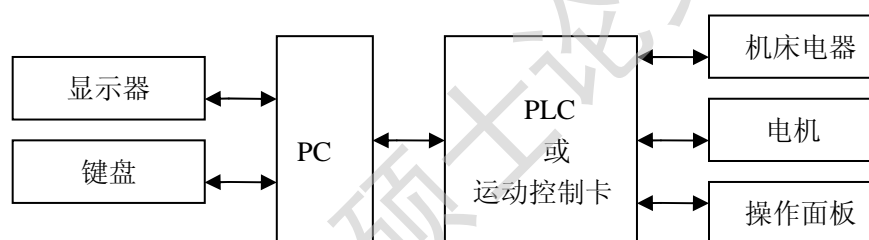


图 1-1 基于 PC 的开放式结构

按组成结构主要可分为以下两类<sup>[6]</sup>：

第一类是 PC+PLC。PC 为通用计算机，PLC 可以采用内嵌或外接两种方式。PLC 可选配电机运动控制模块，电机的速度、位置伺服控制及插补控制均由电机控制模块直接控制。操作面板和机床电器主要包括按钮、指示灯、传感器、开关、电磁阀等，分别连接到 PLC 的输入输出接口。

第二类是 PC+运动控制卡。电机的速度、位置伺服控制及插补控制均由运动控制卡进行控制，操作面板和机床电器连接到运动控制卡的输入输出接口。与 PLC 相比，运动控制卡具有电机控制模块功能强大、编程开发容易、通用性强、性价比高等特点。

### 1.1.3 国内外数控系统的现状

目前,数控技术在国外已经成为一种相对成熟的技术,其发展正逐步由专用型、封闭式、开环控制模式向通用型、开放式、实时动态、全闭环控制模式发展。在集成化的基础上,国外数控系统正在向超薄型、小型化发展;在智能化的基础上,综合了计算机、多媒体、模糊控制、神经网络等学科,数控系统逐步向高速度、高精度、高效率方向发展;加工过程中,数控系统可以自动修正、调节与补偿各项参数,正在向在线诊断和智能化故障处理发展;在网络化基础上,CAD / CAM 与数控系统集成为一体,机床联网,逐步实现中央集中控制的群控加工<sup>[7]</sup>。

我国在 90 年代中期已开始了具有自主知识产权和一定开放特性的数控系统的研发,代表产品有华中 I 型,中华 I 型,航天 I 型和蓝天 I 型等。它们均是以 PC 为平台构成的总线式、嵌入式、多通道的结构,以 PC 下的硬件和软件技术实现数控系统的开发。目前,国内对开放式数控系统的研究形成了以下几个方向:基于软件芯片的开放式数控系统;基于数字伺服现场总线技术的开放式数控系统;基于 Windows 的开放式数控系统;基于 COM 组件技术的开放式数控系统等<sup>[8]</sup>。

## 1.2 转塔冲床概述

### 1.2.1 转塔冲床的分类

冲裁技术是现代制造业高速发展的重要技术。广泛应用于机电产品加工。冲裁与其他金属加工方法比较有以下特点:效率高、生产工艺相对简单、无屑模具成形、无需精加工处理、材料利用率高、同批工件的重复性精度高、易于组成柔性制造系统等。转塔冲床作为冲裁设备之一,由于它具有高效率、高自动化、生产成本低、自动换模、柔性化等特点,适应于多品种,中小批量生产,因而深受广大用户的欢迎,在国内外得到越来越广泛的应用。

随着数控技术的不断进步,在钣金加工领域,数控转塔冲床不但得到越来越广泛的应用,而且在结构和性能上进行着不断的发展。像早期的数控转塔冲床没有自动编程软件,只能在数控系统上直接手动编程,而现在的数控转塔冲床基本都配备了自动编程软件,工作效率和对复杂零件的加工能力都得到了飞跃式的

提升。就 2006 年保有量来说, 美国就有 2 万多台数控转塔冲床, 日本也有接近 2 万台. 中国这几年发展比较快, 保守估计在 6000 台以上<sup>[9]</sup>。

按主轴驱动工作原理来说, 数控转塔冲床主要可分为以下三大类<sup>[9]</sup>:

#### (1) 机械飞轮驱动式数控转塔冲床。

这是数控转塔冲床发展最早的一类机床, 现在仍有一些厂家在生产和使用。这类数控转塔冲床是通过一个主电机带动飞轮旋转, 由离合器进行冲压控制。这类机床优点是结构简单, 产品价格低。但这类机床的缺点也是显而易见的。首先, 效率较低, 转塔冲床必须等飞轮转过一圈, 才进行一次冲压, 冲压行程是固定的, 所以冲压速度没法提高, 目前最高才 180 次/分钟左右。其次, 不适宜成型冲压, 由于打击头的行程没法控制, 进行成型冲压时不易精确控制。另外, 这类机床还有耗电量较大、冲压噪音大等缺点。

#### (2) 液压驱动式数控转塔冲床

这类机床由于其自身的许多优点, 在其出现后迅速得到了广泛的应用。其通过液压缸驱动打击头, 由电液伺服阀进行冲压控制。主要优点表现在几个方面, 首先, 在冲压速度上有了飞跃式的提升。最高可达 1000 次/分钟以上。其次, 由于液压缸行程可控制, 所以可以通过控制打击头的行程来调节成型模具, 使用方便。另外, 这类机床可以控制打击头靠近模具时的速度以减少冲压噪音。但这类机床也还存在多种不足, 首先, 这类机床对环境要求较高, 温度太高或太低都会影响机床的正常工作。其次, 耗电量大, 是各类数控转塔冲床里面用电量最大的。一般都在 30KW 以上。另外, 每年要更换一次液压油, 维护麻烦, 占地面积大等都是它的不利之处。

#### (3) 伺服电机驱动式数控转塔冲床

随着大功率交流伺服电机技术的发展, 伺服电机已逐渐可以满足打击头和其运动机构对打击力、转矩和功率等参数的要求。于是各厂家开发出了第三代数控转塔冲床, 这就是由伺服电机驱动主轴的数控转塔冲床。这类转塔冲床的优点主要表现在以下几个方面, 首先, 由于伺服电机的技术特性, 在保持高速冲压(最高可达 800 次/分钟以上)工作的同时, 转塔冲床可极大的减少电力用量。其次,

由于伺服电机对速度和位置的完全可控,所以其可以使冲压噪音控制在理想的范围内。另外,采用伺服电机的转塔冲床对环境要求较低,无论春夏秋冬,都可以立即起动,无需预热。由于不需要液压装置,没有更换液压用油的烦恼,而且非常环保。机床结构紧凑,占地面积小。

### 1.2.2 国内外转塔冲床的现状

1967年德国 TRUMF 公司生产出了第一台硬件单工位数控冲床,之后随着数控技术的发展,转塔冲床得到了很大发展,性能不断提高,功能逐渐增强。目前,美国、日本和德国等发达国家转塔冲床的普及已经非常高。随着技术的发展,机械式转塔冲床已经渐渐退出历史舞台,液压式转塔冲床完全取代机械式转塔冲床的位置,而伺服主轴式转塔冲床作为潜力股在数控厂商推出的新产品中占据越来越重要的地位。当前国外的生产厂家主要有:日本 AMADA、MURATA、KOMATSU,德国 TRUMF,芬兰 FINN-POWER 等。这些企业产品的发展趋势是向高效化、网络化、智能化方向发展<sup>[10]-[13]</sup>。

国内从事转塔冲床的研究较晚,目前主要生产厂商有:济南捷迈、江苏扬力、江苏金方圆、江苏亚威、青岛双星以及东莞梁发记等。随着中国钣金业的蓬勃发展,国内的转塔冲床也得到了很大的发展,但和发达国家相比还比较落后,很多关键技术如数控系统、大功率伺服电机等还依赖于进口,其中主要以德国的哈雷液压系统、日本 FANUC 的数控系统及其电机等配套产品为主。据当前资料显示,我国转塔冲床的主轴驱动方式以液压驱动为主,有少量产品为机械飞轮驱动,而伺服电机驱动的产品只有江苏扬力的一款 EP20 型全电伺服数控转塔冲床。

现阶段国内外转塔冲床的主要特点有<sup>[14]</sup>:采用高性能液压系统或大功率伺服主轴,极大地提高了冲压速度,使步冲频率达 500—1200 次/分钟;采用智能型夹钳机构,最大限度地减小了冲裁死区;采用毛刷型或万向滚珠型工作台保证了对板料地有效支撑地同时保护板料在快速移动过程中表面不被划伤;工作台移动速度普遍提高,轴向移动速度达 70—120 米/分钟;转塔冲床具有两个或两个以上自动分度工位。



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库