

学校编码: 10384
学号: 19920061151844

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

纯软件开放式数控系统的研究及其在加工
中心上的应用

Research on Pure-Soft Open CNC System and Its
Application in Machine Center

李寅

指导教师姓名: 陈永明副教授
专 业 名 称: 机械电子工程
论文提交日期: 2009 年 5 月
论文答辩时间: 2009 年 6 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()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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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

随着数控技术的不断发展，传统数控系统已不能适应当今制造业市场的变化与竞争，也不能满足现代制造业向信息化、敏捷模式发展的需要。因此，随着 PC 技术的快速发展和广泛普及，开放式数控系统技术开始发展。开放式数控系统不依赖特定的硬件平台和操作系统平台，采用模块化和标准化的结构体系，允许用户进行二次开发。

开放式数控系统有三种实现方式：PC 嵌入 NC 型、NC 嵌入 PC 型和纯软件式。其中，纯软件开放式数控系统充分利用 PC 微机丰富的硬件资源，系统的全部核心功能--包括插补运算、加减速运算、PLC 等实时任务，均由运行在 PC 硬件平台上的软件实现，是开放程度最高的一种实现方式。

ServoWorks 是基于 PC-based 解决方案的软件 CNC 技术，它对硬件体现了很高的兼容性，可以运行在目前通用的 PC 微机操作系统平台之上，通过 RTX 软件扩展了 Windows 系统的实时性，使之符合数控系统的实时性要求。

本论文基于纯软件式 ServoWorks CNC 技术的全面理论研究，在三轴立式加工中心上实现了开放式数控系统 S100M 和配套的整机 PLC 程序。随后，介绍了工程规范的制定以及电气、基本参数和伺服调试的过程。

本课题接下来的工作围绕五轴联动机床和人机界面及功能扩展两方面展开，此外，智能化、网络化也将是未来的发展方向。

关键词：纯软件开放式数控系统； ServoWorks； 加工中心。

Abstract

With the unceasing development of numeric control technology, traditional CNC systems already neither suitable for the change and competition in the manufacturing markets nowadays, nor satisfied with the requirement of modern manufacturing industry growing to informationization and agile mode. Therefore, open CNC system starts to develop along with the PC technology that has extensive popularization and rapid growth. Open CNC system is independent of specific hardware and operating system platform; it adopts the architecture of modularization and standardization and allows the user to make the secondary development.

There are three ways to the Open CNC system: NC-based PC-embedded, PC-based NC-embedded and Pure-Soft Open CNC. Among them, Pure-Soft open CNC, which take full advantage of the abundant hardware source of PC, and make the whole kernel system function(including the real time task of interpolation, acceleration and deceleration calculation and PLC) come true by the software running on the PC hardware platform, is a realization method with the highest degree of openness.

ServoWorks is a soft CNC technology based on PC-based solution. It has good compatibility to the hardware. It can run on the conventional PC operation system platform and extend the real time capability of Windows system using RTX software to satisfy the requirement of CNC system.

This paper which based on the comprehensive theoretical research on the ServoWorks CNC technology, brought into effect the open CNC system S100M and the assorted PLC programs. Soon after, the paper introduces the planning of engineering standard and the debugging process of electricity, essential parameters and the servo amplifiers.

The following tasks will carry on from two aspects: five-axle linkage machine tool and the extension of HMI and functions. Moreover, intellectualization and networking are also the future evolving directions.

Key Words: Pure-Soft Open CNC System; ServoWorks; Machine Center.

目录

第一章 绪论	1
1.1 数控系统及数控机床的发展	1
1.1.1 数控系统和数控机床的概念	1
1.1.2 数控系统的发展历程	1
1.1.3 数控机床的发展趋势	2
1.2 开放式数控系统技术	5
1.2.1 开放式数控系统概念	5
1.2.2 开放式数控系统起源与研究目的	5
1.2.3 开放式数控系统的特点及与传统数控系统的比较	5
1.2.4 国内外开放式系统的发展研究动态	7
1.2.5 开放式数控系统架构	8
1.2.6 开放式数控系统的问题	9
1.3 课题概论	10
1.3.1 选题背景	10
1.3.2 课题的工作进程	11
1.3.3 论文的全文组织	11
第二章 纯软件开放式 ServoWorks CNC 技术的研究	13
2.1 概述	13
2.2 ServoWorks 技术的硬件和操作系统平台	14
2.2.1 ServoWorks 技术的硬件平台	14
2.2.2 ServoWorks 技术的操作系统平台	15
2.2.3 Ardenace RTX 实时扩展子系统	16
2.3 ServoWorks CNC 软件架构	17
2.3.1 ServoWorks CNC 软件架构概述	17
2.3.2 ServoWorks 引擎内核	18
2.3.3 ServoWorks 实时 DLL	20
2.3.4 ServoWorks Develop Kit 二次开发包	20
2.4 ServoWorks CNC 通讯硬件平台	20
2.4.1 ServoWorks CNC 硬件技术概述	20
2.4.2 VersioBus 光纤数字网络	21
2.4.3 EtherCAT 通讯平台	23
2.4.4 专用通讯平台	24
2.5 本章小结	25
第三章 基于 ServoWorks CNC 技术的立式加工中心数控系统开发	27
3.1 立式加工中心机床概述	27
3.1.1 加工中心	27
3.1.2 加工中心功能特点	27
3.1.3 三轴立式加工中心硬件构成	28
3.2 基于 ServoWorks CNC 技术的数控系统 S100M	29
3.2.1 系统激活授权确认	29

3.2.2 ServoWorks 引擎内核的初始化	30
3.2.3 系统主界面	31
3.2.4 系统模式的切换	32
3.2.5 实时状态信息显示	35
3.2.6 系统参数读取和设置	41
3.3 数控系统硬件与加工中心电气连接	43
3.3.1 系统与伺服连接	44
3.3.2 系统与 IO 连接	45
3.4 LadderWorks PLC	46
3.4.1 机床 PLC 概述	46
3.4.2 LadderWorks PLC 概述	47
3.4.3 机床 PLC 的组成	51
3.4.3.1 系统基本 PLC 部分	51
3.4.3.2 机床基本 PLC 部分	52
3.4.3.3 其他辅助机构 PLC 部分	53
3.4.3.4 矩阵式锁码面板 PLC	53
3.4.3.5 刀臂式刀库 PLC	55
3.5 本章小结	61
第四章 基于 ServoWorks CNC 技术的立式加工中心整机调试	63
4.1 整机调试概述	63
4.2 电气调试	64
4.3 基本参数设定	65
4.4 伺服控制调整	66
4.4.1 伺服控制概论	66
4.4.2 伺服参数调整	66
4.4.3 高速高精调整	71
4.5 本章小结	74
第五章 总结与展望	75
5.1 总结	75
5.2 展望	75
参考文献	77
致谢	79
攻读硕士学位期间发表的论文	81
附录	83

厦门大学博硕士学位论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Development of CNC System and CNC Machine Tool	1
1.1.1 Concept of CNC System and CNC Machine Tool.....	1
1.1.2 Develop Course of CNC System.....	1
1.1.3 Trends of CNC Machine Tool.....	2
1.2 Open CNC System Technology	5
1.2.1 Concept of Open CNC System	5
1.2.2 Source and Research purpose of Open CNC System.....	5
1.2.3 Features of Open CNC System and the Comparison with Traditional CNC Systems.....	5
1.2.4 Trends of R&D for Open NC System Home and Abroad.....	7
1.2.5 System Architecture of Open CNC System.....	8
1.2.6 Problems of Open CNC System	9
1.3 Conspectus of the Research	10
1.3.1 Background of the Research	10
1.3.2 Course of the Research.....	11
1.3.3 Structure of the Paper	11
Chapter 2 Research on Pure-Soft Open ServoWorks CNC	13
2.1 Overview of ServoWorks CNC	13
2.2 Hardware and Operating System platform of ServoWorks CNC 14	
2.2.1 Hardware Platform.....	14
2.2.2 Operating System Platform.....	15
2.2.3 Ardence RTX RealTime Subsystem	16
2.3 Software Architecture of ServoWorks	17
2.3.1 Overview of Software Architecture	17
2.3.2 ServoWorks Engines	18
2.3.3 ServoWorks RealTime DLL.....	20
2.3.4 ServoWorks Develop Kit.....	20
2.4 Communications Hardware Platforms of ServoWorks CNC	20
2.4.1 Overview of Hardware Technology	20
2.4.2 VersioBus Interface System.....	21
2.4.3 EtherCAT Communications Platforms	23
2.4.4 Special Communications Platforms.....	24
2.5 Summary	25
Chapter 3 CNC System Development of Vertical Machining Center based on ServoWorks CNC	27
3.1 Overview of Vertical Machining Center	27
3.1.1 Machining Center.....	27
3.1.2 Functional Characteristics of Machining Center	27

3.1.3	Hardware Structure of 3-axis Vertical Machining Center.....	28
3.2	CNC System S100M based on ServoWorks CNC.....	29
3.2.1	Authorization For System Activation.....	29
3.2.2	Initialization of ServoWorks Engine.....	30
3.2.3	Main Interface of System.....	31
3.2.4	Switching of System Mode.....	32
3.2.5	Display of Real Time Status Information.....	35
3.2.6	R/W and Setup of System Parameters.....	41
3.3	Electrical Connection of CNC System and Machining Center ...	43
3.3.1	Connection of System and Servo.....	44
3.3.2	Connection of System and IO.....	45
3.4	LadderWorks PLC.....	46
3.4.1	Overview of Machine PLC.....	46
3.4.2	Overview of LadderWorks PLC.....	47
3.4.3	Composition of Machine PLC.....	51
3.4.3.1	Basic PLC of System.....	51
3.4.3.2	Basic PLC of Machine Tool.....	52
3.4.3.3	Other Auxiliary PLC.....	53
3.4.3.4	Matrix Operation Board PLC.....	53
3.4.3.5	Arm-Mag PLC.....	55
3.5	Summary.....	61
Chapter 4 Debugging of Vertical Machining Center based on		
ServoWorks CNC.....		63
4.1	Overview of Debugging.....	63
4.2	Debugging of Electricity.....	64
4.3	Setup of essential parameters.....	65
4.4	Adjusting of Servo Control.....	66
4.4.1	Overview of Servo Control.....	66
4.4.2	Adjusting of Servo Parameters.....	66
4.4.3	Adjusting of 3D-DLACC.....	71
4.5	Summary.....	74
Chapter 5 Conclusions and Future Direction.....		75
5.1	Conclusions.....	75
5.2	Future Direction.....	75
References.....		77
Acknowledgement.....		79
Publications.....		81
Appendix.....		83

第一章 绪论

1.1 数控系统及数控机床的发展

1.1.1 数控系统和数控机床的概念

数控系统是计算机技术在机械制造领域的一种典型应用，它集计算机、机械加工、电子和自动控制等多项技术于一体，是近年来应用领域中发展十分迅速的一项高新技术。数控系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序并将其译码，从而使机床动作并加工零件。

我国国家标准（GB8129-87）对“机床数控技术”做了如下定义：“用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法，简称数控(NC)”^[1]。

数控机床是数字控制机床的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。从 20 世纪 70 年代以来，以数控机床为代表的现代基础机械已成为制造工业最重要的技术特征，数控机床水平的高低和机床数控化率的高低已成为衡量一个国家工业化水平的重要标志。随着数控技术的发展和在生产过程中的广泛应用，传统的机械工业的产业结构和生产模式发生了深刻的革命性变化，加工精度和速度提高，生产效率大幅度增长，加工品质得到了极大完善，并实现了人工很难做到的对各种复杂工件的自动加工。数控系统的发展也奠定了柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的基础^[2]。

1.1.2 数控系统的发展历程

美国麻省理工学院 1952 年研制出第一台试验性数控铣床，到现在已历经半个世纪。随着电子技术和控制技术的飞速发展，当今的数控系统功能已经非常强大，与此同时，加工技术及其他一些相关技术的发展对数控系统的发展和进步也提出了新的要求。纵观这五十多年间，影响数控技术发展最主要的因素是科学技术特别是计算机技术的发展和制造业市场需求的驱动，总结起来分为两个阶段和六个时代^[3]：

一、 NC（数字控制）阶段

1. 1952 年 MIT 的第一台数控铣床标志着基于电子管和继电器的电子管 NC 时代的开始。

2. 20 世纪 50 年代末，以固定布线的晶体管元器件电路取代了电子管，成为了数控系统的核心，数控技术的发展进入了晶体管 NC 时代。
3. 1965 年出现了第三代数控系统—小、中规模集成电路 NC。集成电路可靠性高，批量生产成本很低，广泛被采用在数控系统上。

二、 CNC（计算机数字控制）阶段

4. 1970 年，大规模集成电路的小型通用电子计算机技术诞生，从此开创了 CNC 时代。
5. 1974 年起，微处理器开始应用于数控系统，标志着 MNC（微型计算机 CNC）时代的开始。微型计算机性价比高，实现了计算机核心部件的高度集成，可靠性高、功能强大、速度快。微型计算机技术应用在数控技术上，使其得到了迅速的发展。现代流行的数控系统大部分还是以微型计算机为核心。
6. 随着 PC 技术，特别是软件技术的发展，1994 年起美国首次出现了基于 PC 的 ONC（开放式 CNC），从此数控技术进入了开放式数控时代。

1.1.3 数控机床的发展趋势

现代数控机床综合应用机械设计与制造工艺、计算机自动控制技术、精密测量与检测、信息技术、人工智能等技术领域中的最新成果，将朝着高速化、精密化、复合化、柔性化、极端化等方向发展^[4]。

面临剧烈的市场竞争，制造企业的核心在于高效快速地生产出高质量的能满足消费者动态变化的需求的产品。作为制造企业的基本设备—数控机床也朝着这个核心目标发展，呈现出以下发展情况和趋势：

1. 高精度、高速度、高可靠性

提高生产率是机床技术追求的基本目标之一，最主要、最直接的方法就是提高切削速度。这就要求机床向高速化方向发展，不仅要提高主轴转速和进给速度，还要提高移动速度与加速度，缩短主轴起动、制动时间，减少换刀时间等。高速加工的实现是机床、刀具、夹具、数控编程技术以及人员素质的集成。此外，当代工业产品对加工精度也提出了越来越高的要求，一些零件的尺寸精度要求在微米、亚微米级，因此，加工这些零件的机床也受到需求的牵引而必须向高精度发展，从精密加工发展到超精密加工（特高精度加工），是世界各工业强国致力发展的方向。

精度和速度是数控机床的两个基本指标。精度关系到产品的质量，而速度是生产率的保证。然而，这两项技术指标是互相制约的^[5]。也就是说，要达到越高的速度，就越难保证精度；要获得越高的精度，越难达到高的速度。20世纪90年代以来，世界各大工业国都注重在高速高精方面的研究，高速主轴单元（电主轴技术，15000~100000rpm）、高速高加减速进给（快移60~120m/min，切削60 m/min）和其他高性能数控伺服系统、超精密加工技术的研究也取得了很大的突破，达到了很高的水平^[6]。

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的另一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率，关键取决于可靠性。提高数控机床的可靠性是建立现代制造业的必要条件，而数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性一个数量级以上。

2. 工艺复合化

数控技术的工艺复合化是指工件在一台机床上一次装夹后，通过自动换刀、旋转主轴头或转台等各种措施，完成多工序、多表面的复合加工；数控技术的多轴化是以减少工序、辅助时间为主要目的的复合加工^[7]。

增加数控机床的复合加工功能，进一步提高其工序集中度，不仅可减少多工序加工零件上下料的时间，而且可以减少零件在不同机床上进行工序转换而增加的工序间输送和等待时间，易于保证加工过程的高可靠性。此外，复合加工还缩短了加工过程链和辅助时间，减少了机床台数，简化了物料流动，提高了生产设备的柔性。

3. 柔性化

产品更新换代和人们对产品多样化、个性化的需求，使得市场对具有良好柔性和多样加工能力的制造系统的需求超过了对大型单一制造系统的需求，这就使得数控机床朝着模块化、可重构、可扩充的柔性化方向发展，也要求在多品种、变批量的环境下保持高效生产。特别是汽车制造业和电子通信设备制造业的发展，对生产效率提出了更高的要求。随着制造过程自动化程度的提高，要求机床不仅能完成通常的加工功能，而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能。柔性化包含数控系统本身的柔性和群控系统的柔性。数控系统采用模块化设计，功能覆盖面大，可裁剪性强，便于满足不同用户的需求；而群控系统能依据不同生产流程的要求，使物料流和信息流自动进行动态调整，从而最大

限度地发挥群控系统的效能。

4. 网络化

随着全球范围内信息化进程的推进,新的诸如柔性制造系统(生产线、流水线)、柔性制造工厂、自动化工厂、虚拟企业、全球制造等制造模式越来越多地被制造业企业所采用。这种新的制造环境对于数控机床的要求就不再是一个独立功能点的存在,而应该是一个网络节点,这就要求数控机床必须具备网络通讯能力。网络化的发展方向促进了数控机床的网络硬件接口技术、网络传输协议技术和网络制造模式技术等相关方面的研究。

5. 智能化、开放性

信息技术的发展使机床朝着数字化和智能化的方向发展。采用智能技术来实现多信息融合下的重构优化的智能决策、过程适应控制、误差补偿智能控制、复杂曲面加工运动轨迹优化控制、故障自诊断和智能维护以及信息集成等功能,将大大提升成形和加工精度。

智能机床的出现,为未来装备制造业实现生产全盘自动化创造了条件。通过自动抑制振动、减少热变形、防止干涉、自动调节润滑油量、减少噪声等,可提高机床的加工精度和效率。数控系统的开发创新,对于机床智能化起到了重大的作用,它能够收容大量信息,并对各种信息进行储存、分析、处理、判断、调节、优化、控制。智能化新一代数控系统将计算机智能技术、网络技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体,形成严密的制造过程闭环控制体系。

随着计算机技术日新月异的发展,基于微机的开放式数控系统是数控技术发展的必然趋势。在传统数控技术方面,我国处于相对落后的状态,开放式数控为我国数控产业的发展提供了良好的契机。

6. 环保和极端结构机床

随着能源危机的加剧和日趋严格的环境保护政策的出台,人们对机床的效率、运行成本、环境污染等方面提出了更高的要求。通过减少机床冷却液排放和利用复合新材料或者新结构实现机床轻量化来满足环保和节能的需求是未来的一大趋势。

此外,极端化是指数控机床有朝着极小化和极大化方向发展的趋势。在国防、航空、航天等行业中大型化装备的制造方面,需要大型数控机床,而微纳米技术的发展需要有能适应微小型尺寸加工的新型制造工艺和装备,这

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