

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920131152942

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

面向石材加工的五轴数控系统与参数化
自动编程研究与开发

Research and Development on Stone Processing System for
Five-axis CNC and Programming Parametric

刘康

指导教师姓名: 陈永明 副教授

专 业 名 称: 仪器仪表工程

论文提交日期: 2016 年 月

论文答辩时间: 2016 年 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2016 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

我国传统石材加工设备自动化程度较低，加工效率低下，面向石材加工的数控系统发展起步较晚，技术相对落后，与国外相比存在很大差距，开发先进的具有自主知识产权的石材加工数控系统具有重要意义。本文针对石材的平面图形加工和仿形加工进行研究，以美国 Soft Servo System 公司设计的 ServoWorks 系统作为二次开发平台，探索可用于石材实际加工的编程方法，设计出一套完整的面向石材加工的五轴数控系统。主要完成了以下工作：

(1) 对 ServoWorks 系统的软件架构和通讯方法作了详细分析。ServoWorks 系统是一种基于 PC 的纯软件开放式数控系统，可以根据石材加工工艺要求有选择性地对功能模块进行重组，通过 Ardence RTX 拓展 Windows 系统的实时性，使之符合数控系统的实时性要求。

(2) 对系统功能和界面进行总计设计。本文结合石材加工工艺及现场加工经验，借鉴国外先进的石材加工数控系统，以 Visual Basic 6.0 为开发语言，设计系统界面和功能，功能包括平面切（圆形切割、椭圆切割、横切、竖切、双向切、倾斜切边、单刀切、正多边形切割）和仿形切（圆柱面仿形切割和棱柱面仿形切割）。

(3) 采用参数化自动编程方法实现平面切和仿形切功能。对各个图形加工所需的几何参数进行求解，通过编写 VB 程序对输入参数进行处理并计算加工控制数据，再通过编写宏程序对处理后的数据进行编译，生成加工主程序。实现只需在系统图形界面输入尺寸参数和工艺参数即可自动加工石材的功能。

(4) 对实现方法进行了理论误差分析，并阐述了系统调试方法。本文对圆孔切割的面形误差、拟合椭圆与真实椭圆的误差和偏置参数测量误差对加工路径的影响作了误差分析，并对系统机械调试、电气调试、PLC 调试及系统参数设置作出说明。

综上所述，本文所设计的面向石材加工的五轴数控系统功能比较全面，经过实际加工测试，速度快、精度高、操作方便，大大提高了石材加工效率，基本满足预期要求，具有重要的理论意义和实际应用价值。

关键词：数控系统；石材切割；自动编程

Abstract

China's traditional stone processing equipment is of low degree of automation, low processing efficiency, CNC system for stone processing development started late, the technology is relatively backward, there is a big gap compared with foreign countries, developing with independent intellectual property rights of the stone processing CNC system has important meaning. The paper for the stone of the graphic processing and profile modeling machining of ServoWorks system which is based on the Soft Servo System company design as the secondary development platform, to explore the actual stone processing programming method can be used to design a set of complete for stone processing of five-axis CNC system. Mainly completed the following work:

Firstly, the software architecture and communication method of ServoWorks system are analyzed in detail. ServoWorks system is a kind of pure-software open CNC system based on PC, it can be in accordance with the requirements of stone processing technology selectively, through the Ardence RTX expand windows system in real time, so as to meet the real-time requirement of the CNC system.

Secondly, total design of the system functions and interface. It combined with field processing stone processing technology and experience, draw lessons from foreign advanced stone processing numerical control system, using Basic Visual 6.0 as the development language to design the system interface and function, total functions contain plane cutting (circular cutting, oval cutting, tilted transverse, vertical cutting, bidirectional cutting, inclined cutting, single-pole cutting, regular polygon cutting) and profile modeling cutting (cylindrical shape cutting and prismatic shape cutting).

Thirdly, the automatic programming method to realize the plane cutting and profile modeling cutting by function parameters. Required for the various graphics processing parameters, through VB programs to process parameters and calculate control data and write macro programs to compile the data, generating and processing

of the main program. The realization of the function for the stone cutting can be automatically processed by inputting the dimension parameters and technological parameters in the system's graphical interface.

Fourthly, Analysis of theoretical error and describes the system debugging methods. A comprehensive analysis is made on the influence of the surface profile error, the error of fitting ellipse and the true ellipse and the measurement error of the bias parameter on the machining path. And explain the mechanical system debugging, debugging, and debugging PLC electrical system parameter setting.

In summary, the function of the five-axis CNC system for stone processing is comprehensive, through the actual processing test, it is fast and has high precision, convenient operation, greatly improving the efficiency of stone processing, basically meet the expected requirements and has important theoretical significance and practical application value.

Keywords: CNC system; Stone Cutting; Automatic Programming

目录

第一章 绪论	1
1.1 数控技术及其发展现状	1
1.1.1 国外数控技术的发展.....	1
1.1.2 我国数控技术的发展.....	2
1.1.3 数控系统技术的发展趋势.....	3
1.2 开放式数控系统	4
1.2.1 开放式系统的发展.....	5
1.2.2 开放式数控系统的基本特征.....	6
1.3 石材加工行业发展	6
1.4 本文的主要研究内容与意义	8
1.5 本论文章节主要内容	8
第二章 ServoWorks 纯软件开放式数控系统	9
2.1 ServoWorks 系统概述	9
2.2 操作系统平台	10
2.2.1 PC 硬件要求.....	10
2.2.2 ServoWorks 系统依托的操作系统平台.....	11
2.2.3 Ardence RTX 实时扩展系统.....	12
2.3 ServoWorks 系统软件架构	13
2.3.1 ServoWorks 系统整体架构概述.....	13
2.3.2 ServoWorks 引擎内核.....	14
2.3.3 ServoWorks 实时 DLL.....	15
2.3.4 ServoWorks 系统二次开发包.....	15
2.4 ServoWorks 系统通讯平台	16
2.4.1 ServoWorks 系统通讯平台概述.....	16
2.4.2 VersioBus 光纤数字网络.....	17
2.4.3 EtherCAT 通讯平台.....	17
2.5 本章小结	18

第三章 五轴石材切割数控系统总体设计方案	19
3.1 五轴石材切割数控系统总体功能的设计	19
3.1.1 自定义石材切割功能.....	20
3.1.2 参数化自动编程切割功能.....	20
3.2 五轴石材切割数控系统功能界面的设计	21
3.2.1 界面设计原理.....	21
3.2.2 界面设计开发.....	23
3.3 本章小结	24
第四章 五轴石材切割数控系统参数化自动编程	25
4.1 五轴石材切割数控系统参数化自动编程的原理	25
4.2 五轴石材切割数控系统宏程序简介	25
4.3 平面切参数化自动编程功能设计	28
4.3.1 圆形切割参数化自动编程功能开发.....	28
4.3.2 椭圆切割参数化自动编程功能开发.....	31
4.3.3 横切、竖切和双向切参数化自动编程功能开发.....	34
4.3.4 倾斜切参数化自动编程功能开发.....	36
4.3.5 单刀切参数化自动编程功能开发.....	37
4.3.6 正多边形切割参数化自动编程功能开发.....	39
4.4 立体切参数化自动编程功能开发	40
4.4.1 圆柱面仿形加工自动编程功能开发.....	41
4.4.2 圆柱面仿形加工自动编程功能开发.....	41
4.5 本章小结	42
第五章 系统调试与误差分析	43
5.1 五轴石材切割数控系统运行平台调试	43
5.2 五轴石材切割数控系统调试	44
5.2.1 ServoWorks 系统机械调试.....	44
5.2.2 ServoWorks 系统电气调试.....	44
5.2.3 ServoWorks 系统 PLC 调试.....	44

5.2.4 ServoWorks 系统基本参数及技术参数的设置.....	45
5.3 石材切割功能开发误差分析.....	46
5.3.1 近视椭圆与真实椭圆误差分析.....	47
5.3.2 圆孔加工面形误差分析.....	49
5.3.3 偏置参数测量误差影响分析.....	50
5.4 本章小结.....	52
第六章 总结与展望.....	53
6.1 总结.....	53
6.2 展望.....	53
参考文献.....	55
致谢.....	57
攻读硕士学位期间发表的论文.....	58
附录.....	59

CONTENTS

Chapter1 Introduction.....	1
1.1 NC technology and its development status.....	1
1.1.1 Development of NC Technology Abroad.....	1
1.1.2 the Development of NC Technology in China	2
1.1.3 Development Trend of NC Technology.....	3
1.2 Open CNC System.....	4
1.2.1 Development of Open CNC Systems.....	5
1.2.2 The Basic Characteristics of Open CNC Systems.....	6
1.3 Development of Stone Processing Industry.....	6
1.4 The Main Research Contents and Significance of the Paper.....	8
1.5 Structure of the Paper.....	8
Chapter2 Research on Pure-Soft Open ServoWorks System.....	9
2.1 Overview of ServoWorks System.....	9
2.2 Operating System platform of ServoWorks System.....	10
2.2.1 Hardware Platform of PC.....	10
2.2.2 Operating System Platform of ServoWorks System.....	11
2.2.3 Ardence RTX Real-time Subsystem.....	12
2.3 Software Architecture of ServoWorks System.....	13
2.3.1 Software Architecture of ServoWorks System.....	13
2.3.2 ServoWorks System Engines.....	14
2.3.3 ServoWorks System Real-time DLL.....	15
2.3.4 ServoWorks Develop Kit.....	15
2.4 The Communication Platforms of ServoWorks System.....	16
2.4.1 Overview of ServoWorks Communications Platforms.....	16
2.4.2 VersioBus Digital Optical Network.....	17
2.4.3 EtherCAT Communication Platform.....	17
2.5 Summary.....	18

Chapter3 Five-axis CNC system Design Scheme for Stone Cutting..	19
3.1 Five-axis CNC system function Design Scheme for Stone Cutting.....	19
3.1.1 Custom Stone Cutting Function.....	20
3.1.2 Parameterized Automatic Programming Cutting Function.....	20
3.2 Five-axis CNC system Interface Design Scheme for Stone Cutting.....	21
3.2.1 Interface Design Principle.....	21
3.2.2 Interface Design and Development.....	23
3.3 Summary.....	24
Chapter4 Parametric Automatic Programming of Five-axis CNC System for Stone Cutting.....	25
4.1 The Principle of Automatic Programming.....	25
4.2 Introduction of Macro Program for Five-axis CNC System.....	25
4.3 Plane Cutting Automatic Parametric Programming Function Design....	28
4.3.1 Circular Cutting Parameter Automatic Programming Function.....	28
4.3.2 Elliptical Cutting Parameter Automatic Programming Function.....	31
4.3.3 Cross Cutting, Vertical Cutting and Bidirectional Cutting Parameter Automatic Programming Function.....	34
4.3.4 Inclined Cutting Parameter Automatic Programming Function.....	36
4.3.5 Single-pole Cutting Parameter Automatic Programming Function....	37
4.3.6 Regular Polygon Cutting Parameter Automatic Programming Function	39
4.4 3D Cutting Automatic Parametric Programming Function Design.....	40
4.4.1 Cylindrical Surface Machining Parameter Automatic Programming Function.....	41
4.4.2 Prismatic Machining Parameter Automatic Programming Function...	41
4.5 Summary.....	42
Chapter5 System Debugging and Error Analysis.....	43
5.1 Operation Platform Debugging of Five-axis CNC system for Stone Cutting.....	43

5.2 Five-axis CNC System Debugging.....	44
5.2.1 ServoWorks Mechanical System Debugging.....	44
5.2.2 ServoWorks Electrical System Debugging.....	44
5.2.3 ServoWorks System PLC Debugging.....	44
5.2.4 The Basic Parameters and Technical Parameters of ServoWorks System Settings.....	45
5.3 The Error Analysis of the Function of Stone Cutting.....	46
5.3.1 Error Analysis of Myopia and Real Ellipse.....	47
5.3.2 Analysis of Surface Shape Error of Circular Hole Machining.....	49
5.3.3 Influence Analysis of Measurement Error of Bias Parameter.....	50
5.4 Summary.....	52
Chapter6 Conclusions and Prospects.....	53
6.1 Conclusions.....	53
6.2 Prospects.....	53
References.....	55
Acknowledgements.....	57
Publications.....	58
Appendix.....	59

第一章 绪论

1.1 数控技术及其发展现状

科学技术作为最高生产力，为了不断提高生产效率，许多技术都被广泛用到生产加工中，其中 Numerical Control，即数控技术（简称 NC）是运用最广泛的技术之一。数控系统功能的实现主要通过读取输入的数字量，自动处理编码指令并控制机床运动轨迹，从而能够利用数字信号控制机床运动。

一个国家综合国力很大程度体现在其制造业的发达程度上，其中数控技术是各国争相竞争之处。数控技术在整个数控机床生产流程中属于核心环节，直接影响机床的功能、操作性能、控制精度、稳定性等，从而数控系统成为研发中的重点。

欧美工业大国现已经走上了数控机床产业化的发展道路，且有了稳健发展。而我国与国外相比起步晚，很长一段时间处在低端迅速发展、中端缓慢进行、高端依赖国外的尴尬情形^[1]。然而，现在是制造业发展的黄金时期，对高端产品的需求越来越多，而高端产品市场被国外占领，我国迫切需要发展高端数控机床，为了提高我国在制造业上的国际竞争力，研发具有自主知识产权的高端数控系统十分必要。

1.1.1 国外数控技术的发展

20 世纪 50 年代初，美国在麻省理工学院的研发下，拥有了全球首台三轴联动数控机床^[2]，随后世界各国陆续研发数控技术。到上世纪 80 年代，数控技术进入高速发展阶段。1986 年，日本三菱（MITSUBISHI）公司研发出 32 位数控系统。1987 年，法兰克（FANUC）公司研制出 32 位多 CPU 系统，使得内部数据交换速度较 16 位数控系统明显加快。

1990 年开始，全球开始快速步入信息技术时代，计算机信息技术的广泛运用也开始改变数控系统的结构，带动其往更高效的方向发展。进入本世纪来，数控技术在控制精度上有了突飞猛进的进步，2010 年，法兰克公司推出能够提供纳米级插补指令的数控系统 FS16i-MB，解决了传统机床生产工件表面平滑度不够的问题；德国西门子（SIEMENS）公司推出的数控系统 828D 具有 80 位浮点计

算精度，大大提高了插补中轮廓控制的精确性和加工精度；三菱公司生产的M700V系列型号的数控系统同样达到纳米级精度^[3]。

在历时半个世纪的发展与改革创新后，世界先进数控技术生产大国主要集中在欧美工业大国。

1.1.2 我国数控技术的发展

我国数控技术的发展起步在 20 世纪 50 年代末，大致经历了 3 个阶段^[4]：

(1) 起步阶段，从上世纪 50 年代末至 70 年代，此时我国正处于经济复苏阶段，国外对我国技术封锁，使得我国数控技术在这一时期发展非常缓慢；

(2) 摸索阶段，从“六五”至“八五”，我国刚实施改革开放，研究环境得到很大改善，该阶段主要以技术引进为主，主要目标是基本建成国家产业化体系。详情可见图 1-1。

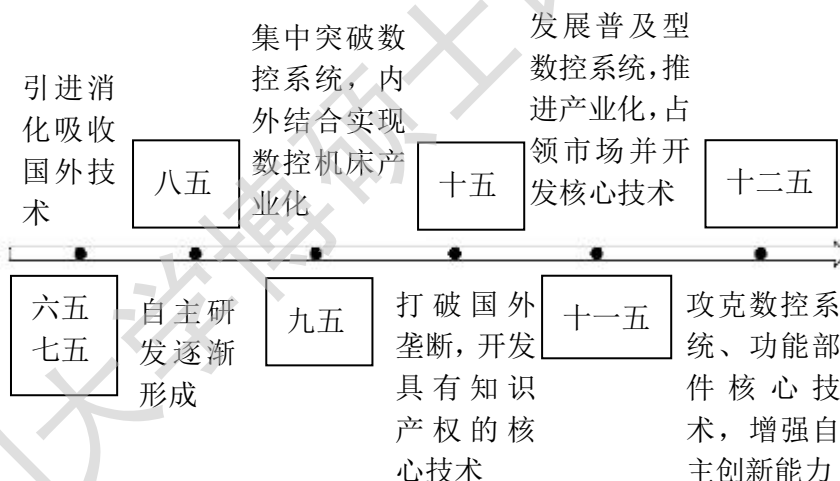


图 1-1 七个五年计划数控技术的发展

(3) 发展阶段，“八五”之后，我国进入市场经济转型期，市场竞争激烈，各项研究集中展开，我国的数控技术得到迅猛发展。我国数控技术的发展阶段共计三个部分：第一个部分即“十五”阶段，为了打破国外“高、精、尖”重大数控装备的垄断，我国开始自主研发数控技术，并能够规模化生产中端数控机床；第二个部分即“十一五”阶段，为了打破仅有少数企业掌握数控技术的落后局面，我国一方面开始普及推广数控系统，占领国内数控机床的市场，另一方面继续加大具有自主知识产权的数控机床的研发，向高技术方向发展，目标实现具有自主知识

版权的数控系统占国产数控机床总量的四分之一；第三个部分即“十二五”阶段，在我国有一定数控机床生产能力的基础上，将战略发展重点转变为攻克数控机床运作的核心技术——数控系统和功能部件两部分，从而增强我国在该领域的自主创新能力，突破国外垄断我国高端数控技术的局面，目标实现我国自主研发的中高端数控系统市场占有率达到近 10%，涌现了广州数控、华中数控等一批数控企业和数控装备。至此，我国基本上拥有了中低端数控技术的核心技术，有了数控生产产业化基石。然而我国高端数控系统所占比例依然很低，并且国内数控企业与欧美工业大国高端数控企业相比存在很大差距，我国仍然以生产中档数控系统为主^[5]。

相对之下,我国数控技术发展滞后,需要大量借鉴和吸收欧美工业发达国家的制造技术,才能迎头赶上现代化生产的潮流。

1.1.3 数控系统技术的发展趋势

制造企业想要有一定的竞争实力，就需要往“高速、高精、复合、智能、环保”的方向发展^[6]，主要趋势如下。

(1) 高速、高精、高可靠性

数控机床运转速度越快加工效率越高，从而降低成本，加大市场竞争力。达成高速之关键在于系统的运算速度和通讯传输速度。目前线性电机驱动速度可以达到 100,000r/min，快速移动速度达到 600m/min，加工进给速度达到 60m/min，加速度达到 10g。

高精密机床是生产高品质产品的必要条件，也是高速机床的运行保障，是判别数控机床、数控系统的性能优劣的重要因素。从 05 年到 15 年间，普通加工车床实现了 10 μ m 到 1 μ m 的极致跨越，并且具备向 μ m 转变的条件^[7]。

可靠性的高低直接体现了数控系统整体性能的优劣，我国要在数控系统及其装备上占领市场就必须在可靠性方面缩短与国外系统的差距，高可靠性指数控系统可靠性高于数控设备可靠性一个数量级以上。

(2) 多轴联动、功能复合化

多轴联动数控系统指采用高效率、高品质、高精度标准要求加工复杂曲面产品，复杂曲面切割时需要利用刀具的几何形状最佳位置，这是三轴联动无法实现

的。

随着市场竞争日渐强烈，企业要求不断提高生产效率缩短加工时间，而相比以往加工功能单一的数控系统，企业希望能够提供多功能为一体（车削、铣削、镗孔、钻孔、磨削等功能）的复合型数控系统，这就要求数控系统不断提高工艺和功能上的复合程度，进而可以用同一台机床综合加工复杂零件，从而可以大大提高加工效率。

（3）智能化、柔性化、网络化

智能化体现在数控系统的多个方面，包括控制加工品质与效率、提高机床驱动性能、编程、操作等在内的所有生产加工环节都可以运用到智能控制系统；例如，机床可以自动识别机床的当前状态，如果切削出现异常可以通过调整参数保证正常加工。

柔性化指数控系统根据成组加工工件的不同参数，选择与之相适用的加工设备自动进行成批高效生产。柔性化具体表现在数控系统由单一的数控机床、产量低的生产线转变为自动化生产车间、计算机信息技术集成制造。其作用在于帮助制造业可以高效抓住市场需求，帮助制造业及时更替产品。当前整个制造业都在往柔性化方向发展^[8]。

网络化是数控系统实现各种新制造模式的必要前提，也是促成制造企业信息集成的技术手段。

（4）向开放式数控系统发展

随着制造业的个性化发展，数控系统正不断向开放式发展，以便于制造商根据企业的实际生产需要来及时、便捷地通过重新组合、修改、删减等方式调整数控系统功能，快速构建不同品种和档次的数控系统，可以针对不同厂家、用户和行业需求，个性化定制所需数控系统。未来数控系统的运作模式表现为，企业可以根据实际需要调整系统功能，在无需升级数控系统软硬件的前提下实现自动监管、网络通信、远程诊断等全面的功能增设^[9]。

1.2 开放式数控系统

当前依旧较多制造企业所使用的数控系统仍然采用传统的封闭技术，这种封闭性带来的特点表现在：（1）无二次开发可能性；（2）无法移植、兼容性差；（3）

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.