



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造技术与应用前沿

机床数控技术

JICHUANG SHUKONG JISHU

李虹霖 编著

上海科学技术出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目
先进制造技术与应用前沿

机床数控技术

李虹霖 编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/李虹霖编著. —上海:上海科学技术出版社, 2012. 1

(先进制造技术与应用前沿)

ISBN 978—7—5478—1044—6

I. ①机... II. ①李... III. ①数控机床 IV.
①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 222374 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 26.75 插页 4

字数 440 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978—7—5478—1044—6/TH·22

定价: 80.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内容提要

本书系统地介绍了数控机床的机械结构、数控系统、伺服系统、数控加工工艺、数控程序编制和数控机床的安装、调试、故障维修等内容。主要内容包括：数控机床产生、分类和发展趋势，计算机数控系统的组成、硬件结构、软件结构和插补原理，常用检测装置的结构和工作原理、常用伺服系统工作原理及控制，数控加工工艺刀具、夹具、工艺设计，程序编制基础知识和基本指令、数控车床、铣床及加工中心基本编程，自动编程软件 MasterCAM 的实际应用，机械结构中的主传动系统、进给传动机构、自动换刀装置及辅助装置，数控机床安装、调试、维护和故障维修。

本书内容系统全面，逻辑性强，结构严谨，注重联系生产实际。读者对象以工程技术人员为主，对于厂矿企业的技术工人和高校相关专业的师生来说，本书也具有较高的参考价值和指导作用。

编撰委员会

先进制造技术与应用前沿

主 任 路甬祥

副 主 任 李蓓智 曹自强

委 员 (按姓氏笔画排序)

王庆林 石来德 包起帆 严仰光

杜宝江 李 明 李 春 李希明

何 宁 何亚飞 陈 明 简耀保

葛江华 董丽华 舒志兵

学术专家 艾 兴 汪 耕 周勤之

前 言

制造业是各种产业的支柱工业,数控技术是制造工业现代化的重要基础,直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。发展数控技术是当前制造工业技术改造、技术更新的必由之路。数控技术是实现柔性制造和计算机集成制造的最重要的基础技术之一,数控机床也是制造系统最基本的加工单元。随着微电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量技术的不断发展和迅速应用,在制造业中,数控技术和数控机床不断更新换代,向高速度、多功能、智能化、开放型以及高可靠性等方面迅速发展。当前柔性自动化是世界机械电子工业发展的趋势。数控技术的应用已成为衡量一个国家工业化程度和技术水平的重要标志。为了发展数控机床和更好地使用数控机床,必须了解数控技术和加工程序编制。

本书在深入调查研究的基础上,总结教学实践经验和科研成果,注意反映经济发展、科技进步和生产实际中的新知识、新技术、新工艺和新方法,突出实用特点,体现创新意识,渗透当代科学思维,反映了当代科学技术发展对人才素质的要求。全书共八章,全面系统地介绍了计算机数控系统的组成、软硬件结构,检测装置的结构和工作原理,数控加工工艺分析,数控车床、铣床及加工中心的程序编程,自动编程,典型机械结构,数控机床安装调试、故障维修等内容。全书内容丰富、通俗易懂、实用性强;理论论述条理清晰,便于掌握;实例分析典型全面,接近生产实际,具有示范性。在本书的编写过程得到了许多同行专家的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,经验不足,书中难免有欠妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

作 者

目 录

第一章	数控技术概论	1
第一节	数控机床的产生与发展	1
一、	数控机床的产生	1
二、	数控系统的发展	2
三、	数字控制的相关概念	3
第二节	数控机床的组成及工作原理	4
第三节	数控机床的分类	6
一、	按加工工艺分类	6
二、	按机床运动的控制轨迹分类	7
三、	按伺服控制的方式分类	8
四、	按数控系统的功能水平分类	10
第四节	数控机床的特点及发展趋势	11
一、	数控机床的特点	11
二、	数控技术的发展趋势	12
第二章	计算机数控系统	17
第一节	计算机数控系统的组成与工作过程	17
一、	计算机数控系统的组成	17
二、	计算机数控系统的工作过程	19
第二节	计算机数控系统的硬件结构	21
一、	单微处理机和多微处理机结构	23
二、	大板式结构与功能模块式结构	27

三、开放式数控系统结构	28
四、基于 LINUX 的开放式结构	32
第三节 计算机数控系统的软件结构	35
一、CNC 装置软硬件的界面	35
二、CNC 系统控制软件的结构特点	36
三、常规 CNC 系统的软件结构	39
第四节 运动轨迹插补原理	46
一、运动轨迹插补的概念	46
二、运动轨迹插补的方法	46
三、逐点比较法	47
四、数据采样法	53

第三章

数控机床伺服系统

60

第一节 概述	60
一、数控机床对伺服系统的要求	60
二、伺服系统的基本组成	61
三、伺服系统的分类	62
四、伺服系统的发展趋势	64
第二节 位置检测装置	66
一、旋转变压器	67
二、光栅	71
三、编码器	75
四、感应同步器	80
五、磁栅	83
第三节 步进电动机伺服系统	85
一、步进电动机的分类	86
二、步进电动机的结构及工作原理	87
三、步进电动机的主要特性	90
四、步进电动机的驱动控制系统	91
五、步进电动机的开环进给系统	99
六、提高步进式伺服系统精度的措施	100

第四节 直流电动机伺服系统	101
一、直流伺服电动机的结构与原理	101
二、直流伺服电动机的电枢电压调速	103
三、晶体管脉宽调速系统	104
四、直流电动机伺服系统的位置控制	107
第五节 交流电动机伺服系统	109
一、异步型交流电动机	110
二、同步型交流电动机	111
三、交流伺服电动机的性能	112
四、交流调速控制	113
第六节 主轴伺服系统	115
一、主轴伺服系统的要求	115
二、典型主轴伺服系统	116
三、主轴的换挡及控制	121

第四章

数控加工工艺

123

第一节 金属切削基本理论	123
一、切削运动与切削用量	123
二、刀具切削部分的几何角度	125
三、切削用量的选择	128
第二节 数控机床刀具	137
一、数控机床刀具的特点	137
二、刀具材料	137
三、加工中心工具系统	141
四、数控机床刀具的选择	145
第三节 数控机床夹具	147
一、机床夹具的分类	147
二、车床夹具	147
三、铣床夹具	149
四、组合夹具	152
五、夹具的选择	154

第四节 数控加工工艺设计	154
一、数控加工工艺内容选择	155
二、数控加工工艺性分析	155
三、数控加工工艺路线的设计	156
四、数控加工工艺设计方法	158
五、填写数控加工技术文件	166
第五节 典型零件加工工艺	170
一、轴套类零件的数控车削加工工艺	170
二、支承套的数控加工工艺	173

第五章 数控加工程序编制 **179**

第一节 数控加工程序编制基础	179
一、数控程序编制的概念	179
二、数控机床坐标系	187
三、常用编程指令	193
四、程序编制中的数学处理	201
第二节 数控车床程序编制	202
一、数控车床程序编制基础	203
二、数控车床的基本编程方法	206
第三节 数控铣床及加工中心编程	224
一、数控铣削加工工艺基础	224
二、数控铣床工艺装备	228
三、数控铣床程序编制	234
四、加工中心及其程序编制	241

第六章 数控加工自动编程 **259**

第一节 自动编程技术概述	259
一、自动编程技术的定义和特点	259
二、图形交互式自动编程的基本步骤	260
三、自动编程软件介绍	261

四、CAM 系统简介	262
第二节 Mastercam 加工基础	267
一、刀具设置	268
二、刀具参数设置	276
三、工件设置	281
四、操作管理	286
五、自动编程综合实例	296

第七章 数控机床机械结构 312

第一节 数控机床结构要求	312
一、数控机床机械结构的特点	312
二、数控机床机械结构应满足的基本要求	313
第二节 主传动系统	315
一、数控机床对主传动系统的要求	315
二、主传动系统的传动方式	316
三、主轴箱与主轴组件	320
四、主轴准停装置	331
五、主轴组件的润滑和密封	333
第三节 进给传动机构	336
一、进给系统概述	336
二、齿轮传动副	338
三、丝杠螺母副	346
四、导轨	358
第四节 自动换刀装置	365
一、自动换刀装置的分类	365
二、刀库	370
三、刀具的选择与识别	373
四、机械手形式及其夹持结构	377
五、主轴刀具自动夹紧装置	380
第五节 辅助装置	383
一、自动排屑装置	383

二、回转工作台	385
---------------	-----

第八章 数控机床的安装调试、管理与维护 **392**

第一节 数控机床的安装、调试和验收	392
一、数控机床的安装	392
二、数控机床的调试	393
三、数控机床的验收	395
第二节 数控机床的管理和选用	399
一、数控机床的管理内容及方法	399
二、数控机床的选用原则及注意事项	400
第三节 数控机床的日常维护和维修	401
一、数控机床日常维护的意义	402
二、使用数控设备应注意的问题	402
三、数控机床的维护要点	403
四、数控机床的故障维修	405
五、数控机床常见故障处理	410
参考文献	414

第一章

数控技术概论

数控机床是当代最先进的制造工具之一,是推动制造技术进步的原动力。数控机床是 19 世纪后半叶发展起来的自动化制造工具,是以计算机为代表的现代技术与传统机床结合的产物,是各种现代先进制造系统,如柔性制造系统(flexible manufacture system, FMS)、计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing systems, CIMS)、可重构制造系统(reconfigurable manufacturing system, RMS)等的基础。

第一节 数控机床的产生与发展

一、数控机床的产生

制造业是生产物质财富的产业,机床是制造业的主要生产设备,制造业中的绝大多数零件都直接或间接地经过机床加工,因此机床(也称工作母机)是制造业的基础。在传统制造业中,对于大批量生产的产品,往往采用组合机床等专用机床组成的自动或半自动生产线;对于单件或小批量生产的产品,一般采用通用机床加工。随着科学技术的不断发展和社会生产力的不断提高,市场对机械产品的要求越来越高,不仅要求提高产品的质量水平,而且要求加快产品更新换代的速度。这样就导致了在现代制造业中多品种、中小批量生产的比重不断增加。在这样的情况下,再采用传统的加工机床就显得不合理了,理由如下:应用专用机床生产线生产准备周期长、费用高、产品不易更新(有时甚至不可能实现产品更新);应用通用机床则无法大幅度地提高生产效率和精确地控制产品质量,同时通用机床也无法加工一些复杂度和精度要求很高的小批量生产的产品。相比之下,数控机床的出现恰恰满足了这些要求。

1948年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,首先提出利用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的概念。1952年帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床。其数控系统采用脉冲乘法器原理,全部由电子管元件组成,虽然体积庞大,功能简单,但是意义重大,标志着机械制造业进入了一个新的发展阶段。1958年我国由北京机床研究所和清华大学开始研制数控机床,1965年北京第一机床厂开始生产三坐标数控铣床。

数控机床的出现,极大地促进了机床行业的技术进步和行业发展。对于整个制造业来说,数控机床的大量使用,使得产品质量大幅度提高,新产品开发周期明显缩短。目前数控机床已经广泛应用于军工、航空航天、汽车、造船、机车车辆、机床、通用机械、纺织、轻工、电子等几乎所有制造行业。

二、 数控系统的发展

1. 数控系统的发展

1939年诞生了世界上第一台电子计算机,这表明人类创造了可增强和部分代替脑力劳动的工具。它与人类在农业、工业社会中创造的那些只是增强体力劳动的工具相比,有了质的飞跃,为人类进入信息社会奠定了基础。13年后,即在1952年,计算机技术应用到了机床上,从而一种新型的用数字程序控制的机床应运而生。这种机床是一种综合运用了计算机技术、自动控制、精密测量和机械设计等新技术的机电一体化典型产品。数控机床是一种装有程序控制系统(数控系统)的自动化机床。行业中一般认为数控机床控制系统经历了六代的发展,即1952年第一代——电子管;1959年第二代——晶体管;1965年第三代——小规模集成电路;1970年的第四代——小型计算机;1974年的第五代——微处理器和1990年的第六代——基于PC(国外称为PC-BASED)。

从1952年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统到现在已走过了六十多年的历程。数控系统由当初的电子管式起步,经历了以下几个发展阶段:分立式晶体管式、小规模集成电路式、大规模集成电路式、超大规模集成电路、小型计算机式及微机式的数控系统。

前三代数控装置属于采用专用控制计算机的硬件数控装置,一般称为NC数控系统。到20世纪80年代,总体发展趋势是:数控装置由NC向CNC发

展;广泛采用 32 位 CPU 组成多微处理器系统;提高系统的集成度,缩小体积,采用模块化结构,便于裁剪、扩展和功能升级,满足不同类型数控机床的需要;驱动装置向交流、数字化方向发展;CNC 装置向人工智能化方向发展;采用新型的自动编程系统;增强通信功能;数控系统可靠性不断提高。总之,数控机床技术不断发展,功能越来越完善,使用越来越方便,可靠性越来越高,性能价格比也越来越高。

2. 我国数控系统发展概况

我国于 1958 年研制出第一台数控机床,发展过程大致可分为三大阶段。从 1958 年到 1979 年为第一阶段,从 1979 年到 1989 年为第二阶段,从 1989 年至今为第三阶段。第一阶段由于我国基础理论研究滞后,相关工业基础薄弱,特别是电子技术落后,数控系统没有突破,虽然我国起步不晚,但发展不快,20 世纪 60~70 年代,我国与发达国家差距开始拉大。20 世纪 70 年代国家组织数控机床攻关,取得一定成效,相继推出一些数控机床品种,但从整体来看,我国数控机床产业尚处于起步阶段。在第二阶段从日、德、美、西班牙先后引进数控系统技术,从日、美、德、意、英、法、瑞、匈、奥、韩等国及台湾地区引进数控机床先进技术和进行合作、合资生产,解决了可靠性、稳定性问题,数控机床开始正式生产和使用,并逐步向前发展。第三阶段国家从科技攻关和技术改造两方面对数控机床产业进行了重点扶植,并加快了国产数控系统的开发。普及型数控系统开发成功为数控机床商品化和规模化生产奠定了基础。一些数控机床主机厂组建床身、箱体、主轴、轴套等成组单元,厂内组织专业化生产,生产水平进一步提高。CAD/CAPP/CAM 开始应用,开发能力、工艺水平和产品质量进一步提高,奠定了产业化基础,数控机床进入了快速发展期。

三、 数字控制的相关概念

1. 数字控制(numerical control, NC)

用数值数据的控制装置,在运行过程中不断地引入数值数据,从而对某一生产过程实现自动控制。

2. 数控机床(NC machine tools)

数字控制机床简称数控机床,这是一种将数字计算技术应用于机床的控制技术。它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示,通过信

息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求的形状和尺寸自动地将零件加工出来。

3. 数控系统(NC system)

广义上来讲,数控系统是将计算机数控装置、可编程控制器(PLC)、进给驱动及主轴驱动装置等相关设备的总称。狭义上来讲,数控系统仅指其中的计算机数控装置。

4. 计算机数控系统和微处理器数控系统

计算机数控(computerized NC, CNC)系统是用计算机控制加工功能,实现数值数据控制的系统。

微处理器数控(micro-computerized NC, MNC)系统是指用微处理器构成计算机数控装置,进行数值数据控制的系统。

5. NC 与 CNC

NC 和 CNC 都是数控行业中常用的概念,经常容易混淆。从定义本身来说,它们的含义是有很大不同的。NC 代表旧版的、最初的数控技术,属于硬件数控;CNC 代表新版的计算机数控技术,属于软件数控。

NC 系统(与 CNC 系统相比较)使用固定的逻辑单元操作程序,这些操作程序是内置的,并且是永久嵌入控制单元内部的,这些操作程序不能由编程人员或机床操作人员更改。所有程序的修改必须脱离控制系统来做。通常 NC 系统要求必须用穿孔纸带来输入程序。

CNC 系统主要是使用计算机来操作程序。计算机含有存储各种程序的存储寄存器,这些程序可以用来处理逻辑操作,这就意味着零件编程人员或机床操作人员可以通过控制系统自身在机床上来修改或编写程序。灵活性是 CNC 系统的最大优势。

第二节 数控机床的组成及工作原理

数控机床一般由数控系统、伺服系统(包含伺服电动机和检测反馈装置)、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成,如图 1-1 所示。

1) 控制介质 控制介质又称信息载体,是联系人与数控机床之间的中间媒介物质,反映了数控加工中全部信息。数控机床的加工程序可以存储在控制介质上。常用的控制介质有穿孔纸带、磁带和磁盘等。

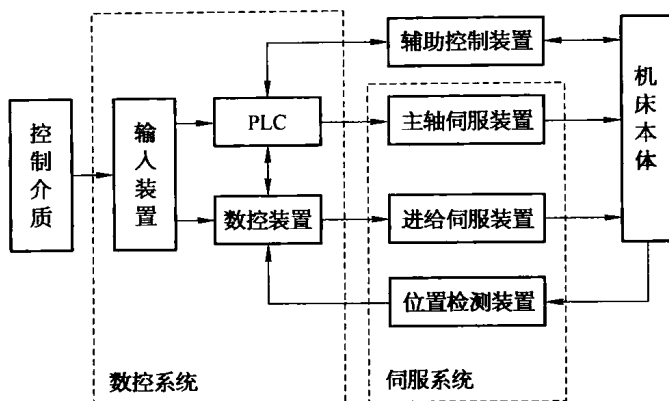


图 1-1 数控机床的基本结构

2) 输入装置 输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。

3) 数控装置 数控装置是数控机床的核心。其作用是从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译,运算处理后,输出几种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

4) 伺服单元和驱动装置 伺服单元是 CNC 和机床本体的联系环节,它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同,伺服单元有脉冲式和模拟式之分,而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。伺服单元还包括位置检测装置,位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移检测出来,经反馈系统反馈到机床的数控系统中。

驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动,通过简单的机械连接部件驱动机床,使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出图纸所要求的零件。和伺服单元相对应,驱动装置有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

伺服单元和驱动装置可合称为伺服驱动系统,它是机床工作的动力装置,CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施,所以伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说,数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置,而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

5) 辅助控制装置 辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过翻译、逻辑判别和运算,再经功率放大后驱动相应的电