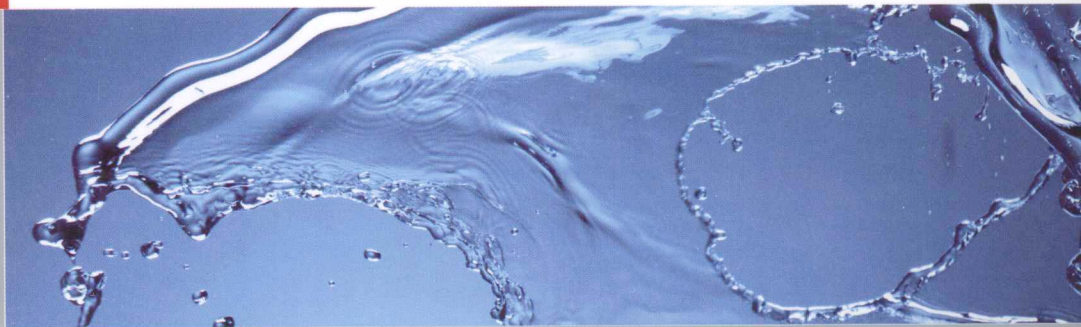


全国普通高校自动化专业规划教材



NUMERICAL CONTROL SYSTEMS

数控系统



梁桥康 王耀南 彭楚武◎编著
Liang Qiaokang Wang Yaonan Peng Chuwu



清华大学出版社

013062008

全国普通高校自动化专业规划教材

TG659-43
138

内容简介

本书是“全国普通高校自动化专业规划教材”之一，主要介绍数控系统的基本组成、工作原理、应用及开发。全书共分8章，第1章介绍数控系统的组成及分类；第2章介绍数控系统的机械传动；第3章介绍数控系统的伺服驱动；第4章介绍数控系统的刀具控制；第5章介绍数控系统的冷却与排屑控制；第6章介绍数控系统的故障诊断与排除；第7章介绍数控系统的维护与保养；第8章介绍数控系统的开发。本书可作为高等院校自动化专业及相关专业的教材，也可供从事数控系统工作的工程技术人员参考。

NUMERICAL CONTROL SYSTEMS

数控系统



梁桥康 王耀南 彭楚武◎编著

Liang Qiaokang Wang Yaonan Peng Chuwu

TG659-43
138

清华大学出版社



北航

C1669917

800520310

清华大学出版社

内 容 简 介

本书以现代数控加工机床的数字控制技术与应用为基础,详细阐述和分析了数控原理、数控编程、数控伺服系统、数控系统相关检测技术等方面的知识。全书共分为7章,内容主要包括数控系统概述、数控加工基础和数控系统控制原理、数控加工程序编制基础、计算机数控装置、数控伺服系统、数控系统相关的检测技术、国内外数控系统相关新技术等内容。各章既有联系,又有一定的独立性。

全书内容丰富翔实,深入浅出,系统性强,重点突出,注重理论知识和实际应用的结合,强调自动化和电气类知识的综合应用,力求在强化理论基础的同时突出实践性和先进性。

本书适合作为高等工科院校本科自动化和电气类等专业的教材,也可供从事数字控制等相关技术的研究人员与工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控系统/梁桥康等编著. —北京:清华大学出版社,2013.8

全国普通高校自动化专业规划教材

ISBN 978-7-302-31909-2

I. ①数… II. ①梁… III. ①数控机床—数控系统—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 074792 号

责任编辑:梁 颖 薛 阳

封面设计:李召霞

责任校对:梁 毅

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:保定市中国画美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19.5

字 数:489 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版

印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00 元

产品编号:048898-01

前言

PREFACE

自 1952 年第一台数控铣床在美国问世至今,数控技术已走过了 60 多年的发展历程。作为现代制造加工业的技术基础,数控技术集计算机、微电子、自动控制、检测与传感等高新技术于一体,并随着控制技术、计算机技术、功率器件技术、伺服驱动技术和信息技术等相关技术的发展而不断发展,其技术水平直接体现了一个国家的综合科技水平,并直接关系到国家战略地位。数控技术已被世界各国列为优先发展的关键工业技术,具有高速高精度控制、5 轴联运插补、多通道控制等技术的高档数控系统已上升到战略物资的高度,成为发达国家限制中国进口的产品。

现代装备制造业是国民经济和国防建设的基础性产业,而数控技术是现代装备制造业的核心和基础技术,其广泛应用引发了装备制造业和相关产品的内涵发生根本性变化,使得制造加工设备的功能变得更加丰富、性能得到了质的飞跃,全面提升了加工生产产品的质量水平和市场竞争力。在经历了蒸汽一代和电气一代后,机械产品正在全面进入数控一代,并必然会发展到智能一代。

自 20 世纪 90 年代以来,随着数控系统相关技术突飞猛进的发展,尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,数控技术通过不断采用控制理论等相关领域的最新技术成果,正成功地带动机械制造装备的重大技术进步,推动着装备制造自动化的不断发展。以计算机集成制造系统(CIMS)、柔性制造系统(FMS)和计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)等技术为代表的先进制造技术正在对各行各业的生产方式产生巨大而深远的影响。为获得市场竞争优势,各企业围绕如何提高产品质量、降低生产成本和缩短开发周期等问题展开了积极探索和研究,使得加工过程中的精度、速度和柔性度得以不断提高。

数控技术是我国中长期科技计划 16 个重大专项中的关键技术,在国家 6 个 5 年计划的持续支持下,我国数控装备制造及数控系统取得了显著的成就,形成了较完备的产业体系和研发体系,具有自主知识产权的数控平台及基本系统(如经济型和普及型数控系统)在国内市场占有率明显提高,与国外相应产品的水平差距明显缩小,并具有一定规模的出口,为进一步普及数控技术和提高机械制造装备创新能力奠定了坚实的基础。但是,我国的数控技术及相关产业还存在一些发展瓶颈,如高档数控系统及相关设备的国产率较低;由于我国高档数控系统在功能分析、译码流程和编译软件开发等多方面存在不足,用于多轴、多通道、高速(插补频率高于 500kpps)、高精(分辨率高于 0.001mm)、复合加工的高档、大重型数控系统及成套设备与国外相关产品技术水平(尤其是数控系统的可靠性)的差距还较大。

未来的机械制造装备业的竞争,其本质就是数控技术,尤其是高档数控系统及装备的竞争。

为适应这种形势的需求,根据专业调整和课程体系建设,作者结合多年从事数控技术相关的科研和教学经验,针对自动化及电气类学科专业特点,编写了本书。本书以现代数控系统为基础,先后论述了 CNC 数控系统概述、数控加工基础和数控系统控制原理、数控加工程序编制基础和方法、数控装置的软硬件结构、数控伺服系统工作原理和数控系统相关的检

II 数控系统

测装置,同时还介绍了数控技术的部分新技术和新成果。

参与本书编写的有梁桥康、王耀南、彭楚武、王群、周寒英、舒延勇等。本书适合作为高等工科院校本科自动化和电气类等专业的教材,也可供科研单位、工厂等作为从事数字控制等相关技术的研究人员与工程技术人员的参考书。本书受国家自然科学基金项目(NSFC. 61203207)、教育部博士点新教师基金(20120161120015)、中国博士后科学基金面上项目(2012M510133)、湖南省科技计划一般项目(2012RS4046)资助。

本书在编写过程中,参考了大量相关文献和网络资源,得到了许多同仁的大力支持和帮助,在此向有关作者一并表示感谢。由于时间仓促和编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请广大读者和专家批评指正。

编者

2012年12月

目 录

CONTENTS

第 1 章 数控系统概述	1
1.1 数控系统的基本概念	1
1.2 数控系统的组成	3
1.3 数控系统的功能和主要技术性能指标	4
1.3.1 数控系统的功能	4
1.3.2 数控系统的技术性能指标	10
1.4 数控系统的发展历程及发展趋势	13
习题与思考题 1	17
第 2 章 数控加工基础和数控系统控制原理	18
2.1 CNC 系统的一般工作过程	18
2.2 数控加工工艺分析与处理	20
2.2.1 数控加工工艺概述	20
2.2.2 数控加工工艺分析	22
2.3 数控加工中几何特征的数学处理	39
2.3.1 基点坐标的描述	39
2.3.2 节点坐标的描述	40
2.3.3 非圆曲线的数据处理	40
2.4 数控加工的轨迹规划	46
2.4.1 逐点比较插补法	47
2.4.2 数字积分插补法	53
2.4.3 比较积分插补法	60
2.4.4 数据采样插补法	64
2.5 刀具半径补偿	68
2.5.1 B 功能刀具半径补偿	68
2.5.2 C 刀具半径补偿	69
2.5.3 C 功能刀具半径补偿的转换形式和过渡方式	70
2.5.4 转换矢量的计算	72
2.5.5 刀具半径补偿的实例	74
习题与思考题 2	75
第 3 章 数控加工程序编制基础	76
3.1 数控加工程序编制的定义和方法	76
3.2 数控加工程序编制基础	79
3.2.1 数控加工程序格式	79

IV 数控系统

3.2.2	数控机床相关坐标系	83
3.2.3	数控程序常用功能指令及其使用	86
3.3	数控车床加工程序编制	94
3.3.1	数控车床编程概述	95
3.3.2	数控车床坐标系	99
3.3.3	数控车削加工的夹具与刀具系统	101
3.3.4	数控车削加工常用编程指令	105
3.3.5	数控车削加工编程实例	113
3.4	数控铣床和加工中心程序编制	115
3.4.1	数控铣削(加工中心)编程概述	115
3.4.2	数控铣削(加工中心)编程要点	119
3.4.3	数控铣削(加工中心)编程实例	129
3.5	数控自动编程技术	131
3.5.1	CAD/CAM 集成技术	131
3.5.2	常见自动编程软件简介	133
3.5.3	Mastercam 自动编程应用实例	137
	习题与思考题 3	148
第 4 章	计算机数控装置	151
4.1	概述	151
4.2	计算机数控(CNC)装置硬件	152
4.2.1	单 CPU 结构	153
4.2.2	多 CPU 结构	155
4.2.3	开放式数控系统	159
4.2.4	嵌入式数控系统	161
4.3	计算机数控(CNC)装置软件	162
4.3.1	计算机数控装置软件的组成	162
4.3.2	数控装置软件结构特点	163
4.4	计算机数控装置的接口	167
4.4.1	键盘输入及接口	168
4.4.2	显示接口	168
4.4.3	通信和网络接口	170
4.4.4	现场总线接口	172
4.5	数控系统中的可编程逻辑控制器	173
4.5.1	概述	173
4.5.2	通用型 PLC 的基本结构	174
4.5.3	数控系统中 PLC 的功能	176
4.5.4	数控机床 PLC 的类型	177
4.5.5	PLC 控制程序的编制	179

4.5.6	PLC 在数控系统中的应用	181
4.5.7	常用 PLC 功能简介	184
	习题与思考题 4	189
第 5 章	数控伺服系统	190
5.1	概述	190
5.1.1	数控伺服系统组成	190
5.1.2	伺服系统控制原理	191
5.2	伺服系统的分类与特点	194
5.2.1	按调节理论分类	194
5.2.2	按使用的伺服电机分类	196
5.2.3	按使用的驱动元件分类	196
5.2.4	按控制轴分类	196
5.2.5	按反馈比较控制方式分类	197
5.3	常用执行元件及其控制	208
5.3.1	步进电动机伺服系统	208
5.3.2	直流伺服系统	223
5.3.3	交流伺服电机及其速度控制	232
5.3.4	直线电动机及其在数控机床中的应用	238
	习题与思考题 5	243
第 6 章	数控系统相关的检测技术	244
6.1	数控系统检测与反馈装置概述	244
6.2	数控系统检测与反馈装置的分类	245
6.3	脉冲编码器	246
6.4	光栅	250
6.4.1	光栅的种类和特点	250
6.4.2	光栅的工作原理	252
6.5	旋转变压器	255
6.5.1	旋转变压器的结构和分类	257
6.5.2	正余弦旋转变压器的工作原理	258
6.5.3	旋转变压器在数控系统中的应用	260
6.5.4	旋转变压器的误差和使用注意事项	260
6.6	感应同步器	261
6.6.1	种类和结构	261
6.6.2	感应同步器的工作原理	262
6.6.3	感应同步器在数控闭环控制系统中的应用	265
6.6.4	感应同步器的特点	265
6.6.5	感应同步器安装使用的注意事项	266

VI 数控系统

习题与思考题 6	267
第 7 章 国内外数控系统相关新技术	268
7.1 并联数控机床及其控制	268
7.1.1 概述	268
7.1.2 并联运动机床数控系统的硬件和软件	270
7.2 分布式数控系统	274
7.3 柔性制造系统	276
7.3.1 概述	276
7.3.2 柔性制造系统的类型与构成	277
7.3.3 柔性制造系统的控制结构	278
7.3.4 柔性制造系统的发展趋势	279
习题与思考题 7	280
附录 A 数控系统的常用术语	281
附录 B 数控系统的技术标准	286
附录 C FANUC 数控系统的 G 代码及 M 指令	287
附录 D 常用 PLC 技术参数	291
附录 E 部分习题参考答案	296
参考文献	303

数控系统概述

本章学习目标

本章着重介绍数控系统的基本概念、数控系统的组成、数控系统的功能和主要技术性能指标,以及数控系统的发展历程及发展趋势。通过对数控系统的基本概念的学习和理解,读者应较完整地认识数控系统的构成及各部分的功能和作用,并掌握开环、闭环和半闭环控制系统及点位、点位直线和轮廓控制系统的组成和特点,了解数控系统的发展现状及发展趋势。

图 1-1 数控系统的组成

1.1 数控系统的基本概念

作为新兴高新技术产业和尖端工业的实现手段和主流装备,数控技术及装备综合了计算机、电气传动、自动控制、伺服驱动、测量技术、机械制造等领域的技术成果,正被广泛应用于机械、军事、国防、航空、航天、汽车、轻工、医疗等重要行业,同时极大地推动了柔性制造系统(FMS)、计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)和计算机集成制造技术(CIMS)的发展。装备工业的现代化程度和技术水平决定着国民经济的整体水平和现代化程度,高精度、高效率、机电液气光一体化、高智能和高自动化水平的先进数控机床是当代机械制造加工业最重要的装备,正推动着工业和国民经济飞速发展。

数控技术是指利用数字化的信息对设备(机床)运动及其加工过程进行控制的一种方法,简称数控(Numerical Control, NC)。数控技术综合运用机械制造加工、信息处理、自动控制、伺服驱动、传感器与测量等多方面技术,具备位移和相对位置坐标自动控制、动作顺序自动控制、速度及转速自动控制和各种辅助功能自动控制等功能。

数控系统(Numerical Control System)是数字控制系统的简称,是由数控装置、伺服系统、反馈系统连接成的装置,用数字代码形式的信息控制机床的运动速度和运动轨迹,以实现

对零件给定形状的加工。数控机床(Computer Numerical Control Machine Tool)是指采用了数控技术的机床或是装备了数控系统的机床,可在零件程序的控制下自动完成程序所规定的操作,其实质和特征是用数字技术控制机床。典型的数控机床主要由主机、各种元部件(功能部件)和数控系统三大部分组成,作为数控机床控制核心的数控系统性能优劣与功能强弱将直接关系到整个数控机床的加工性能和产品质量。如图 1-1 所示,具体的数控机床一般由输入输出装置、数控装置、可编程控制器、伺服系统、检测反馈装置和机床主机等组成。

1. 数控系统

数控系统是数控机床的核心与主导,一般由操作系统、主控制系统、可编程逻辑控制器、各类 I/O 接口等组成。数控系统主要完成加工数据的处理计算、多坐标控制、插补运算、补偿等功能,最终实现数控机床自动加工。其控制方式可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两类。操作系统主要由显示器和操纵键盘组成,其中,现代数控机床一般采用集成于系统的液晶显示器作为输出装置。可编程控制器主要对主轴单元实现控制,将程序中的转速指令进行处理以控制主轴转速;管理刀库,进行自动刀具交换、选刀方式、刀具累计使用次

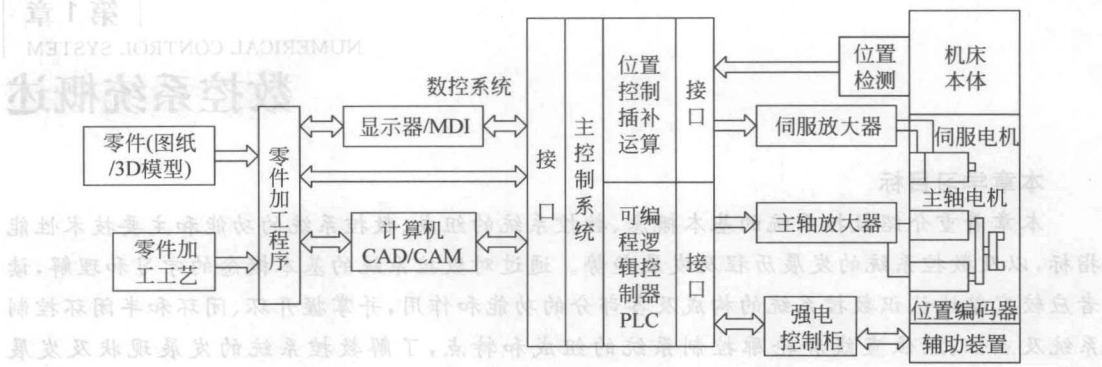


图 1-1 数控机床的主要组成部分

数、刀具剩余寿命及刀具刃磨次数等管理；控制主轴正反转和停止、准停、切削液开关、卡盘夹紧松开、机械手取送刀等动作；还对机床外部开关(行程开关、压力开关、温控开关等)进行控制；对输出信号(刀库、机械手、回转工作台等)进行控制。

2. 伺服系统 伺服系统又称随动系统、拖动系统或伺服机构，一般由伺服控制系统、伺服电动机和位置检测反馈装置等组成。作为数控机床的输出执行部件，伺服系统接收数控装置输出的插补结果或插补软件生成的进给脉冲指令，如指令脉冲或数字量，通过一定的信号变换及电压、功率放大控制电动机驱动机床的移动部件，完成预期的直线或转角位移。检测反馈装置由检测元件和相应的电路组成，主要是检测速度和位移，并将信息反馈于数控装置，实现闭环控制以保证数控机床的加工精度。

3. 机床本体 数控机床的主体，作为数控系统的控制对象，包括床身、主轴、进给传动机构等机械部件，是机床本体。根据不同的加工工艺，可以是车床、铣床、钻床、镗床、磨床、加工中心及其他特种加工机床等。此外，数控机床还配有多种辅助装置，如切削液或油液处理系统中的冷却或过滤装置、油液分离装置、吸尘雾装置、对刀仪、自动排屑器、物料储运及上下料装置、润滑装置及辅助主机实现传动和控制的气动、液压装置等。其作用是配合机床完成对零件的加工。

4. 主传动系统 数控机床的主运动是指系统为切除零件毛坯上的多余金属提供所需的切削速度和动力，它是切削过程中速度最高、消耗功率最多的运动。数控机床主传动系统是指数控机床的主运动传动系统，用以实现机床切削加工时对扭矩和功率的传递。可以分为齿轮有级调速和电气无级调速两类。目前，数控机床的主传动电机已不再采用普通的交流异步电机或传统的直流调速电机，它们已逐步被新型的直流调速电机和交流调速电机所代替。

5. 强电控制装置 数控机床的强电控制装置通常也称为强电柜，主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件，包括中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等。它介于数控系统和机床本体、液压部件之间，控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀和电磁离合器等。

1.2 数控系统的组成

数控系统是数控机床的核心。现代数控装置均采用计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)形式,这种 CNC 装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(Software NC)。CNC 系统是一种位置控制系统,它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件加工出所需要的零件。传统的数控系统一般以硬件逻辑电路构成的专用硬件数控(NC)装置为核心,而现代数控系统一般是以 PC 硬件和软件作为其核心的计算机数控(CNC)装置。美国电子工业协会所属的数控标准化委员会定义 CNC 是一个用于存储程序的计算机,并可按照存储在计算机内的读写存储器中的控制程序去执行数控装置的部分/全部功能,计算机通过接口与外界连接。

数控系统是数控机床的控制指挥中心,如图 1-2 所示,一般由 I/O 设备、计算机数字控制(CNC)装置、可编程控制器(PLC)、主轴驱动装置和进给伺服系统以及检测装置等共同组成。

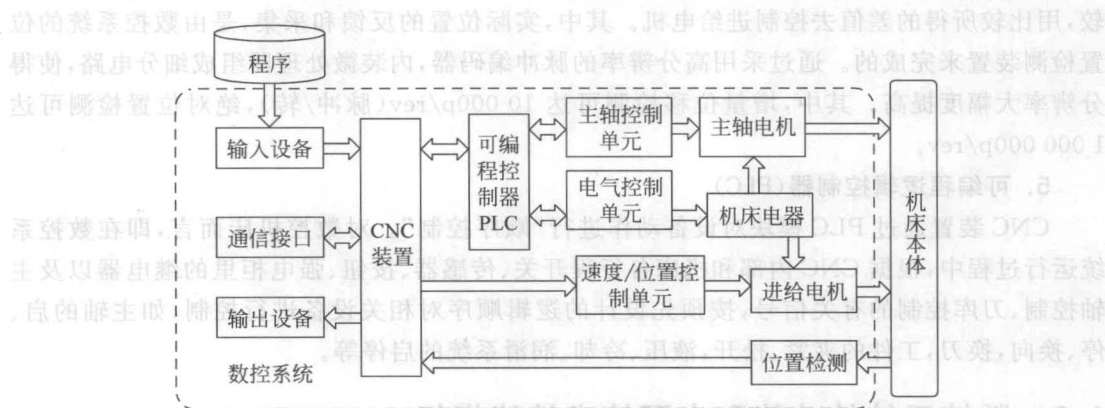


图 1-2 数控系统组成框图

1. 输入输出装置

输入装置主要负责将零件加工信息及其他操作命令传递给数控装置。输出装置则在数控装置的控制下显示必要的内部工作实时参数信息,如坐标值、进给速度、主轴转速、报警信号和故障诊断参数等。数控机床操作人员通过输入输出装置与数控系统进行信息交流,如零件加工程序的编辑、修改和调试。在数控机床产生的初期,输入装置为穿孔纸带,现已趋于淘汰。目前,除使用键盘、磁盘、U 盘等作为输入装置外,许多现代的数控系统可以使用串行通信接口进行输入,大大方便了信息输入工作。直接数控(Distributed Numerical Control, DNC)输入方式把零件程序保存在上级计算机中,系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。一般在机床初始工作状态时记录和保存其相关输出参数,待工作一段时间后,再将输出与原始资料作比较、对照,可帮助判断机床工作是否维持正常。

2. CNC 装置

CNC 装置是数控系统的核心,主要完成数字信息运算、处理和控制。传统的 NC 装置由各种逻辑元件、记忆元件等构成固定接线的数字逻辑电路硬件,数控功能由硬件来实现。而现代 CNC 装置采用 PC,由软件实现部分或全部的数控功能,软件是系统实现“柔性”功能

变化的主要因素,而且无须改变硬件电路,通过改变软件就可变换或扩展系统的功能。在数控加工过程中,CNC装置首先运行,在其内部控制软件的作用下,通过输入装置或输入接口读入零件的数控加工程序,并存放在CNC装置的程序存储器内。开始加工时,将数控加工程序读出,正确识别和解释程序,进行各种零件轮廓几何信息和命令信息的处理,并将处理结果分发给相应的单元。CNC装置将处理的结果按两种控制量分别输出:一类是连续控制量,送往驱动控制装置;另一类是离散的开关控制量,送往机床电器逻辑控制装置。

3. 伺服驱动装置

数控系统中的伺服驱动装置将CNC装置的微弱指令信号进行信号调理、转换、放大后驱动伺服电动机,使刀具或工件按规定的轨迹做相对运动或使工作台精确定位,以实现自动化加工。数控系统中的伺服驱动装置包括主轴伺服驱动模块、进给驱动模块、回转工作台及刀库伺服控制装置等。

4. 检测装置

计算机数控系统是一种位置控制系统,它将插补计算的理论位置与实际反馈位置相比较,用比较所得的差值去控制进给电机。其中,实际位置的反馈和采集,是由数控系统的位置检测装置来完成的。通过采用高分辨率的脉冲编码器,内装微处理器组成细分电路,使得分辨率大幅度提高。其中,增量位移检测可达 $10\,000\text{p/rev}$ (脉冲/转),绝对位置检测可达 $1\,000\,000\text{p/rev}$ 。

5. 可编程逻辑控制器(PLC)

CNC装置通过PLC模块对设备动作进行“顺序控制”。对数控机床而言,即在数控系统运行过程中,根据CNC内部和机床各行程开关、传感器、按钮、强电柜里的继电器以及主轴控制、刀库控制的有关信号,按预先设计的逻辑顺序对相关设备进行控制,如主轴的启、停、换向,换刀,工件的夹紧、松开,液压、冷却、润滑系统的启停等。

1.3 数控系统的功能和主要技术性能指标

随着数控系统相关技术如计算机、自动控制、精密加工等技术的不断发展,人们对机械加工精度和速度的要求不断提高,由此对数控系统提出了更高的要求,即要求数控系统功能不断增强、性能不断改进、成本不断降低,CNC技术水平要与计算机等其他相关技术同步发展。总的来说,数控系统的功能一般包括基本功能和选择功能。基本功能是数控系统必备的功能,选择功能是供用户根据机床特点和用途进行选择的功能。CNC系统由于现在普遍采用了微处理器作为其核心,许多功能都可以通过软件取代硬件进行实现。CNC系统的功能主要反映在准备功能G指令代码和辅助功能M指令代码上。数控系统生产厂家较多,各厂家又有多种系列,每个系列的数控系统也性能各异。因此根据数控机床的类型、用途、档次的不同,CNC系统的功能及相应的性能指标也有较大的差别,下面介绍其主要功能和性能指标。

1.3.1 数控系统的功能

1. 控制功能

CNC系统的控制功能主要表现在系统能最多控制的轴数和能同时控制(联动)的轴数。控制轴可以进一步细分为移动轴和回转轴,或分为基本轴和附加轴。数控系统的多轴联动

功能可以实现复杂轮廓轨迹的自动加工。目前,一般的数控车床为二轴控制(X,Z),二轴联动(X,Z);一般的数控铣床为三轴控制(X,Y,Z)、三轴联动(X,Y,Z)或二轴半联动(X,Y 联运,Z 周期进给,实现分层加工);一般加工中心为多轴控制(X,Y,Z,A,B,C),三轴联动(X,Y,Z)。控制轴数越多,特别是同时控制的轴数越多,对 CNC 系统的功能要求就越高,同时 CNC 系统也会越复杂,编制程序也越困难。

2. 准备功能

准备功能(G 指令代码),指用来使数控系统建立起某种运动方式的功能,例如,基本移动、定位、加减速运动、平面选择、螺纹切削、坐标设定、主轴转速、刀具补偿、固定循环等指令等。对于点位式的加工机床,如钻床、冲床等,需要点位移动控制系统。对于轮廓控制的加工机床,如车床、铣床、加工中心等,需要控制系统有两个或两个以上的进给坐标具有联动功能。表 1-1 为国标 JB 3208—1999 标准中规定的 G 代码的定义。G 代码可以根据其是否能功能保持分为续效代码(又称模态代码)和非续效代码(又称非模态代码),表中第Ⅱ列中所示的 a、c、…、k、i 等字母所对应的 G 代码称为续效代码。它表示在数控系统中一旦被使用,在没有同组其他 G 代码出现时一直有效。如数控程序中第 n 句中用到了 G01(a 组中的直线插补),在第 n 句以后的语句如果没有出现 a 组中的其他 G 代码,直线插补功能一直有效,而且可以省略不写。不同组的续效代码在同一数控加工程序段中可以同时出现,互不影响。表中的“不指定”代码,表示在将来该标准的修正本中可能对这些代码规定其功能。而表中的“永不指定”代码,表示在本标准内,将来也不指定其功能。这两类代码都可以由数控系统的设计者根据需要定义新的功能,但必须在机床说明书中予以解释说明。

表 1-1 准备功能 G 代码

代码(Ⅰ)	功能保持到取消或被同样字母表示的程序指令所取消(Ⅱ)	功能仅在所出现的程序段内有作用(Ⅲ)	功能(Ⅳ)	代码(Ⅰ)	功能保持到取消或被同样字母表示的程序指令所取消(Ⅱ)	功能仅在所出现的程序段内有作用(Ⅲ)	功能(Ⅳ)
G00	a		点定位	G01	a		直线插补
G02	a		顺时针方向圆弧插补	G03	a		逆时针方向圆弧插补
G04		*	暂停	G05	#	#	不指定
G06	a		抛物线插补	G07	#	#	不指定
G08		*	加速	G09		*	减速
G10~G16	#	#	不指定	G17	c		XY 平面选择
G18	c		ZX 平面选择	G19	c		YZ 平面选择
G20~G32	#	#	不指定	G33	a		螺纹切削,等螺距
G34	a		螺纹切削,增螺距	G35	a		螺纹切削,减螺距
G36~G39	#	#	永不指定	G40	d		刀具补偿/刀具偏置注销
G41	d		刀具补偿-左	G42	d		刀具补偿-右
G43	#(d)	#	刀具偏置-正	G44	#(d)	#	刀具偏置-负

续表

代码(I)	功能保持到取消或被同样字母表示的程序指令所取消(II)	功能仅在所出现的程序段内有作用(III)	功能(IV)	代码(I)	功能保持到取消或被同样字母表示的程序指令所取消(II)	功能仅在所出现的程序段内有作用(III)	功能(IV)
G45	#(d)	#	刀具偏置+ / +	G46	#(d)	#	刀具偏置+ / -
G47	#(d)	#	刀具偏置- / -	G48	#(d)	#	刀具偏置- / +
G49	#(d)	#	刀具偏置0 / +	G50	#(d)	#	刀具偏置0 / -
G51	#(d)	#	刀具偏置+ / 0	G52	#(d)	#	刀具偏置- / 0
G53	f		直线偏移, 注销	G54	f		直线偏移 X
G55	f		直线偏移 Y	G56	f		直线偏移 Z
G57	f		直线偏移 XY	G58	f		直线偏移 XZ
G59	f		直线偏移 YZ	G60	h		准确定位 1(精)
G61	h		准确定位 2(中)	G62	h		快速定位(粗)
G63		#	攻螺纹	G64~G67	#	#	不指定
G68	#(d)	#	刀具偏置, 内角	G69	#(d)	#	刀具偏置, 外角
G70~G79	#	#	不指定	G80	e		固定循环注销
G81~G89	e		固定循环	G90	j		绝对尺寸
G91	j		增量尺寸	G92		#	预置寄存
G93	k		时间倒数, 进给率	G94	k		每分钟进给
G95	k		主轴每转进给	G96	i		恒线速度
G97	i		每分钟转数(主轴)	G98、G99	#	#	不指定

- 注: (1) # 号表示如选作特殊用途, 必须在程序格式说明中进行说明。
- (2) 如在直线切削控制中没有刀具补偿, 则 G42~G52 可指定作其他用途。
- (3) 在表中左栏括号中的字母(d)表示: 可以被同栏中没有括号的字母 d 所注销或代替, 也可被有括号的字母(d)所注销或代替。
- (4) G45~G52 的功能可用于机床上任意两个预定的坐标。
- (5) 控制机上没有 G53~G59、G63 功能时, 可以指定作其他用途。

3. 辅助功能

辅助功能即 M 代码, 是控制机床相关部件的开、关功能的指令。如主轴的启、停和转向; 切削液的开和闭; 运动部件的夹紧和松开; 刀库的启和停等辅助动作的控制。表 1-2 为国标 JB 3208—1999 标准中规定的 G 代码的定义。各种型号的数控装置具有的辅助功能差别很大, 而且有许多是自定义的。随着数控技术的发展, 先进的数控系统不仅向用户编程提供了一般的准备功能和辅助功能, 而且为编程提供了扩展数控功能的手段。FANUC 6M 数控系统的参数编程, 应用灵活, 形式自由, 具备计算机高级语言的表达式、逻辑运算及类似的程序流程, 使加工程序简练易懂, 可实现普通编程难以实现的功能。

表 1-2 辅助功能 M 代码

代码(I)	功能开始时间		功能保持到被 注销或被适当 程序指令代替 (IV)	功能仅在所 出现的程序 段内有作用 (V)	功能(VI)
	与程序段指令 运动同时开始 (II)	在程序段指令 运动完成后 开始(III)			
M00		*		*	程序停止
M01		*		*	计划停止
M02		*		*	程序结束
M03	*		*		主轴顺时针方向
M04	*		*		主轴逆时针方向
M05		*	*		主轴停止
M06	#	#		*	换刀
M07	*		*		2 号冷却液开
M08	*		*		1 号冷却液开
M09		*	*		冷却液关
M10	#	#	*		夹紧
M11	#	#	*		松开
M12	#	#	#	#	不指定
M13	*		*		主轴顺时针方向,冷却液开
M14	*		*		主轴逆时针方向,冷却液开
M15	*		*	*	正运动
M16	*		*	*	负运动
M17、M18	#	#	#	#	不指定
M19		*	*		主轴定向停止
M20~M29	#	#	#	#	永不指定
M30		*		*	纸带结束
M31	#	#		*	互锁旁路
M32~M35	#	#	#	#	不指定
M36	*		*		进给范围
M37	*		*		进给范围 2
M38	*		*		主轴速度范围 1
M39	*		*		主轴速度范围 2
M40~M45	#	#	#	#	如有需要作为齿轮换挡,此 外不指定
M46、M47	#	#	#	#	不指定
M48		*	*		注销 M49
M49	*		*		进给率修正
M50	*		*		3 号冷却液开
M51	*		*		4 号冷却液开
M52~M54	#	#	#	#	不指定
M55	*		*		刀具直线位移,位置 1
M56	*		*		刀具直线位移,位置 2
M57~M59	#	#	#	#	不指定
M60		*		*	更换工件

续表

代码(Ⅰ)	功能开始时间		功能保持到被 注销或被适当 程序指令代替 (Ⅳ)	功能仅在所 出现的程序 段内有作用 (Ⅴ)	功能(Ⅵ)
	与程序段指令 运动同时开始 (Ⅱ)	在程序段指令 运动完成后 开始(Ⅲ)			
M61	*		*		工件直线位移,位置 1
M62	*		*		工件直线位移,位置 2
M63~M70	#	#	#	#	不指定
M71	*		*		工件角度位移,位置 1
M72	*		*		工件角度位移,位置 2
M73~M89	#	#	#	#	不指定
M90~M99	#	#	#	#	永不指定

注:(1) # 号表示:如选作特殊用途,必须在程序说明中说明。
(2) M90~M99 可指定为特殊用途。

4. 插补功能

插补是指数控系统收到进给运动的信息后,运用相关软件和算法,在轮廓的起点和终点之间计算出若干个逼近理想轮廓的中间点的坐标值,而后以脉冲形式的指令对各坐标轴进行进给运动任务的分配,从而对沿指定轮廓的进给运动实现控制。CNC 系统是通过软件插补来实现刀具运动轨迹控制的。考虑到轮廓控制的实时性要求,而软件插补的计算速度难以满足数控机床对进给速度和分辨率的要求,同时由于 CNC 不断扩展其他方面的功能也要求减少插补计算所占用的 CPU 时间。因此,CNC 的插补功能实际上被分为粗插补和精插补,插补软件每次插补一个小线段的数据为粗插补,伺服系统根据粗插补的结果,将小线段分成单个脉冲的输出称为精插补。也有的数控系统采用硬件进行精插补。现代数控系统的插补功能越来越多,如 SINUMERIK 840D 数控系统具备样条插补、三阶多项式插补和曲线表等插补功能,为加工各类曲线曲面零件提供了便利条件。

5. 进给功能

CNC 系统的进给功能用 F 指令代码直接指定加工的进给速度,单位一般为 mm/min 或 mm/r。F 指令代码也是一种续效代码。

(1) 切削进给速度:以每分钟进给的毫米数指定刀具的进给速度,如 F100 表示进给速度 100mm/min。对于回转轴,表示每分钟进给的角度。

(2) 同步进给速度:当进给速度与主轴的转速有关时(如车削螺纹、攻螺纹等),以主轴每转一圈进给的毫米数来规定进给速度,如 0.03mm/r。只有主轴上装有位置编码器的数控机床才能指定同步进给速度,用于切削螺纹。

(3) 进给倍率:进给倍率可以在 0%~200%之间变化,由操作面板上的倍率开关设置,每档间隔 10%。可以达到不用修改零件加工程序而改变实际进给速度,并可以在试切零件时随时改变进给速度或在发生意外时停止进给。编程时总是假定倍率开关指在 100%的位置上。

6. 主轴功能

主轴功能用来指定主轴的转速,该代码为续效代码。辅助功能代码 M03、M04 必须与