



普通高等教育规划教材

数控技术

第2版

龚仲华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

数 控 技 术

第 2 版

龚仲华 主编



机械工业出版社

本书以数控机床为主线,比较全面、系统地叙述了机床数控技术的有关内容,突出了内容的先进性、技术的综合性,理论联系实际,重在应用。

全书共分六章,内容包括:绪论,数控机床的机械结构,数控加工技术,数控机床编程,数控机床的驱动系统与检测技术,数控机床的工程设计。各章节后均附复习思考题。

本书可作为高等学校相关专业的教材,也可供研究单位、企业从事数控机床设计、数控技术应用的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/龚仲华主编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2010

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-31480-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 150286 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王小东 责任编辑:王小东

责任校对:陈延翔 封面设计:陈 沛

责任印制:乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2010 年 10 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 16.5 印张·402 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-31480-6

定价:29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821 封面无防伪标均为盗版

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的马·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的唯一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并作出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高，必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

第2版前言

数控技术是先进制造技术的基础，它的普及与应用，使制造业发生了巨大的变化。数控技术的水平和普及程度，已成为衡量一个国家综合国力和现代化水平的重要标志。

本书以数控技术应用最早、最广泛的代表性产品——数控机床为主线，就数控技术所涉及的几个重要方面内容，进行了比较全面、系统地叙述。

本书通过对现代数控机床的技术前沿，如高速加工机床、虚拟轴机床、高速电主轴、直线电动机、凸轮机械手换刀等方面的结构与原理的介绍，力求内容的先进性；根据应用型本科教学的需要，全书内容、实例主要来源于工程实际，选材典型、实用、新颖，以数控技术的应用为主，兼顾理论分析，力求内容的实用性。

为了适应现代科技发展与应用型人才培养需求，本次修订删去了原书中实用性不强与工程实践中渐趋淘汰的内容，同时增补了车削中心编程、交流调速系统、数控机床工程设计等方面的知识，使全书内容更为先进、实用。

本书既是高等学校相关专业的系列教材之一，又可供研究单位、企业从事数控机床设计、数控技术应用的技术人员参考。

本书由龚仲华教授任主编。第三章由荣瑞芳教授编写，其余各章全部由龚仲华编写。编写过程中还得到了史建成、孙毅同志的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者
2010年6月

第1版前言

数控技术是先进制造技术的基础，它的普及与应用，使制造业发生了巨大的变化。数控技术的水平和普及程度，已成为衡量一个国家综合国力和现代化水平的重要标志。

本书以数控技术应用最早、最广泛的代表性产品——数控机床为主线，就数控技术所涉及的几个重要方面内容，进行了比较全面、系统地叙述。

本书通过对现代数控机床的技术前沿，如高速加工机床、虚拟轴机床、高速电主轴、直线电动机、凸轮机械手换刀等方面的结构与原理的介绍，力求内容的先进性；根据应用型本科教学的需要，全书内容、实例主要来源于工程实际，选材典型、实用、新颖，以数控技术的应用为主，兼顾理论分析，力求内容的实用性。

本书既是高等学校相关专业的系列教材之一，又可供研究单位、企业从事数控机床设计、数控技术应用的技术人员参考。

本书由常州工学院龚仲华任主编，华北航天工业学院荣瑞芳任副主编。第一章、第二章、第四章由龚仲华编写，第三章、第六章、第七章由荣瑞芳编写，第五章由淮阴工学院宗国成编写。编写过程中还得到了常州工学院史建成、孙毅同志的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者
2003年9月

目 录

序	
第2版前言	
第1版前言	
第一章 绪论	1
第一节 概述	1
一、数控技术的基本概念	1
二、数控系统及其组成	2
第二节 数控机床的基本组成和 工作原理	4
一、数控机床的基本组成	4
二、数控机床的工作原理	5
第三节 数控机床的分类	6
一、按加工工艺方法分类	6
二、按伺服驱动的特点分类	7
第四节 数控机床的特点	8
第五节 现代制造技术简介	10
复习思考题	13
第二章 数控机床的机械结构	14
第一节 概述	14
一、数控机床机械结构的主要特点	14
二、数控机床对机械结构的基本要求	15
三、提高数控机床性能的措施	16
第二节 数控机床的总体布局	17
一、数控车床的常用布局形式	17
二、卧式数控镗铣床(卧式加工中心)的 常用布局形式	18
三、立式数控镗铣床(立式加工中心)的 常用布局形式	19
四、数控机床交换工作台的布局	19
五、高速加工数控机床的特殊布局	20
六、虚拟轴机床	21
第三节 数控机床的主传动系统	22
一、主传动的要求和变速方式	22
二、主轴的联接形式	23
三、主轴部件的支承	23
四、电主轴与高速主轴系统	25
五、主轴部件的结构	27
第四节 数控机床的进给传动系统	28
一、数控机床对进给传动系统的 基本要求	28
二、数控机床进给传动系统的 基本形式	29
三、直线电动机与高速进给单元	30
四、滚珠丝杠螺母副的原理	32
五、滚珠丝杠螺母副的支承	33
六、滚珠丝杠螺母副与电动机的联接	35
*七、滚珠丝杠螺母副的选择与计算	37
第五节 数控机床的导轨	41
一、数控机床对导轨的基本要求	41
二、数控机床导轨的种类与特点	42
三、滚动导轨的结构原理与特点	44
*四、滚动导轨的选择与计算	45
五、滚动导轨的安装与使用	47
第六节 数控机床的自动换刀装置	48
一、自动换刀装置的基本要求和形式	48
二、回转刀架	49
三、加工中心刀库的类型与布局	51
四、无机械手换刀	52
五、机械手换刀	53
六、凸轮机械手换刀装置	55
七、自动换刀机床的主轴结构	58
八、机械手手爪结构	60
第七节 数控机床的回转工作台	61
一、回转工作台的基本要求和形式	61
二、分度工作台	62
三、立式数控回转工作台	64
四、卧式数控回转工作台	65
复习思考题	66

第三章 数控加工技术	67	六、刀具补偿机能(G40、G41、G42、G43、 G44、G49)	121
第一节 数控加工的工艺特点	67	第四节 数控车床的程序编制	125
一、数控加工过程概述	67	一、数控车床的代码体系与 编程特点	125
二、数控加工及其特点	68	二、数控车床的特殊编程指令	127
第二节 数控加工工序的划分原则 与内容	72	三、车削加工循环	131
一、零件图样的数控工艺性分析	73	四、数控车床程序的基本格式	141
二、数控加工工序的划分	74	第五节 镗铣类数控机床的程序 编制	145
第三节 数控机床用刀具	82	一、镗铣类数控机床的代码体系与 编程特点	145
一、数控刀具的类型	82	二、数控镗铣床(加工中心)的 特殊编程	146
二、数控车床刀具	83	三、数控镗铣床的固定循环	150
三、数控铣床、加工中心用刀具	84	四、数控镗铣床(加工中心)程序的 标准格式	159
第四节 数控机床的夹具	87	第六节 用户宏程序、参数编程、 蓝图编程简介	161
一、对数控机床用夹具的要求	87	一、用户宏程序	161
二、数控机床夹具的选用方法	88	二、参数编程	169
三、数控夹具的典型结构	88	三、蓝图编程	171
第五节 数控机床的使用与维护	93	第七节 车削中心的程序编制	176
一、数控机床的使用	93	一、铣削加工	176
二、预防性维护方法	95	二、孔加工	179
复习思考题	98	三、自动倒角	183
第四章 数控机床编程	99	四、蓝图编程	184
第一节 编程的基本概念	99	复习思考题	187
一、程序与编程	99	编程练习题	188
二、程序字与输入格式	99	第五章 数控机床的驱动系统与 检测技术	189
三、程序的组成、程序段	100	第一节 开环步进驱动系统	189
四、主程序、子程序	103	一、步进电动机的工作原理	189
第二节 数控系统的机能说明	105	二、步进电动机的特性	192
一、插补机能	105	三、步进驱动器	193
二、进给机能	106	第二节 交流伺服驱动系统	195
三、主轴机能	106	一、交流伺服的分类与运行原理	195
四、辅助机能	107	二、交流伺服驱动器	197
五、刀具机能	108	第三节 交流主轴驱动与变频	
第三节 基本编程指令	109		
一、机床坐标系的建立与选择指令	109		
二、工件坐标系的建立与选择指令	111		
三、尺寸的公、英制选择与小数点 输入	114		
四、绝对、增量编程(G90、G91)	114		
五、基本移动指令的编程	115		

调速系统	201	二、硬件配置与选择	225
一、交流主轴驱动与变频器	201	第二节 数控系统的软件功能	228
二、感应电动机调速原理	203	一、坐标轴控制功能	228
三、感应电动机调速系统	206	二、主轴控制功能	230
第四节 交流逆变技术	210	三、辅助功能控制	232
一、交流逆变的基本概念	210	第三节 主轴系统的设计	233
二、PWM 逆变原理	212	一、电动机基本参数的确定	233
第五节 数控机床的检测技术	215	二、电动机功率的选择	234
一、光栅与光电编码器	215	三、加减能力计算	237
二、磁栅与磁性编码器	218	第四节 伺服进给系统设计	239
复习思考题	220	一、伺服电动机的基本选择	239
第六章 数控机床的工程设计	222	二、进给系统的稳态设计	240
第一节 数控系统的硬件结构与		三、伺服进给系统的动态设计	245
选型	222	参考文献	249
一、数控系统的硬件组成	222	注：带 * 者可以选择讲授	

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、数控技术的基本概念

1. 数控技术、数控系统与数控机床

数控技术,简称数控(Numerical Control——NC)是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。由于现代数控都采用计算机进行控制,因此,也可以称为计算机数控(Computerized Numerical Control——CNC)。

为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制,必须具备相应的硬件和软件。用来实现数字化信息控制的硬件和软件的整体称为数控系统(Numerical Control System),数控系统的核心是数控装置(Numerical Controller)。由于数控技术、数控系统、数控装置的英文缩写都采用 NC(或 CNC),因此,在实际使用中,在不同场合 NC(或 CNC)具有三种不同含义,即:既可以在广义上代表一种控制技术,又可以在狭义上代表一种控制系统的实体,此外还可以代表一种具体的控制装置——数控装置。

数控系统和计算机技术的发展始终保持同步,至今已经历了从电子管、晶体管、集成电路、计算机到微处理机的演变,系统的功能日益增强,应用领域日益扩大,发展异常迅速,更新换代十分频繁。

采用数控技术进行控制的机床,称为数控机床(NC 机床)。它是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品,是现代制造技术的基础。机床控制也是数控技术应用最早、最广泛的领域,数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向,因此,本书将以数控机床为主线,介绍数控技术的有关内容。

2. NC 机床、加工中心、FMC、FMS 与 CIMS

数控机床种类繁多,有钻铣镗类、车削类、磨削类、电加工类、锻压类、激光加工类和其他特殊用途的专用数控机床等,凡是采用了数控技术进行控制的机床统称 NC 机床。

带有自动刀具交换装置(Automatic Tool Changer——ATC)的数控机床(带有回转刀架的数控车床除外)称为加工中心(Machine Center——MC)。它通过刀具的自动交换,可以一次装夹完成多工序的加工,实现了工序的集中和工艺的复合,从而缩短了辅助加工时间,提高了机床的效率,减少了零件安装、定位次数,提高了加工精度。加工中心是目前数控机床中产量最大、应用最广的数控机床。

在加工中心的基础上,通过增加多工作台(托盘)自动交换装置(Auto Pallet Changer——APC)以及其他相关装置,组成的加工单元称为柔性加工单元(Flexible Manufacturing Cell——FMC)。FMC 不仅实现了工序的集中和工艺的复合,而且通过工作台(托盘)的自动交换和较完善的自动检测、监控功能,可以进行一定时间的无人化加工,从而进一步提高了设备的加

工效率。FMC 既是柔性制造系统的基础，又可以作为独立的自动化加工设备使用，因此，其发展速度较快。

在 FMC 和加工中心的基础上，通过增加物流系统、工业机器人以及相关设备，并由中央控制系统进行集中、统一控制和管理，这样的制造系统称为柔性制造系统(Flexible Manufacturing System——FMS)。FMS 不仅可以进行长时间的无人化，而且可以实现多品种零件的全部加工或部件装配，实现了车间制造过程的自动化，它是一种高度自动化的先进制造系统。

随着科学技术的发展，为了适应市场需求多变的形势，对现代制造业来说，不仅需要发展车间制造过程的自动化，而且要实现从市场预测、生产决策、产品设计、产品制造直到产品销售的全面自动化。将这些要求综合，构成的完整的生产制造系统，称为计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System——CIMS)。CIMS 将一个工厂的生产、经营活动进行了有机的集成，实现了更高效益、更高柔性的智能化生产，是当今自动化制造技术发展的最高阶段。

3. NC 机床与程控机床

NC 机床与程控机床是两种不同含义的机床，它们的控制要求和控制对象有本质的不同。一般来说，机床自动控制主要包括三方面内容：

1) 机床动作顺序的程序控制，典型的有组合机床、自动生产线等的流程与工步控制。其主要控制要求是根据机床的动作顺序表(如电磁阀等执行元件的动作表)，按规定的顺序通过执行元件的依次动作，完成机床的动作流程。

2) 主电动机与辅助电动机的起动、停止、变速，冷却、润滑、排屑、自动换刀等辅助机能的控制。这些控制有的是为了实现机械加工所必需的，有的是机床特殊动作和功能方面的需要。它可以通过继电器、接触器、变频器、调速器等进行控制。

对于只需要上述 1)、2) 两方面控制的加工设备，称为程序控制机床，简称程控机床。如：组合机床、自动生产线等，可编程控制器(Programmable Controller)，是实现以上控制的最佳选择。

3) 刀具(或坐标轴)移动轨迹控制。对刀具运动轨迹进行控制，是加工轮廓的必要条件，它包括移动速度控制、移动位置控制、移动轨迹控制等几方面的基本要求，必须通过采用数控技术才能实现。

在程控机床上，对于运动部件的位移量控制，一般需要通过挡铁、行程开关等检测元件的发信和对执行元件的通断控制实现。即便是采用了伺服驱动装置的程控机床，一般也只能对各运动部件的移动速度、移动位置进行单独的控制和调整，因此，程控机床能实现点位控制，但不能实现各运动部件间的“联动”来任意改变坐标轴(或刀具)在平面或空间的移动轨迹，故不能称为数控机床。

在数控机床上，通过数控系统的“插补”运算，实现了坐标轴的联动功能。它不仅可以控制移动部件的起点与终点坐标，而且还能同时控制各运动部件每一时刻的速度和位移，以及各运动部件间的相互关系，从而可以将工件加工成要求的轮廓形状。这是数控机床与其他机床的本质区别，也是机床采用数控技术的根本原因。

二、数控系统及其组成

1. 机床数控系统的基本组成

数控系统是所有数控设备的核心。数控系统的主要控制对象是坐标轴的位移(包括移动速度、方向、位置等),其控制信息主要来源于数控加工或运动控制程序。因此,作为数控系统的最基本组成应包括:程序的输入/输出装置、数控装置、伺服驱动等三部分。

(1) 输入/输出装置 输入/输出装置的作用是进行数控加工或运动控制程序、加工与控制数据、机床参数以及坐标轴位置、检测开关的状态等数据的输入、输出。键盘和显示器是任何数控设备都必备的最基本输入/输出装置。此外,根据数控系统的不同,还可以配光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。作为外围设备,计算机是目前常用的输入/输出装置之一。

(2) 数控装置 数控装置是数控系统的核心。它由输入/输出接口线路、控制器、运算器和存储器等部分组成。数控装置的作用是将输入装置输入的数据,通过内部的逻辑电路或控制软件进行编译、运算和处理,并输出各种信息和指令,以控制机床的各部分进行规定的动作。

在这些控制信息和指令中,最基本的是坐标轴的进给速度、进给方向和进给位移量指令,它经插补运算后生成,提供给伺服驱动,经驱动器放大,最终控制坐标轴的位移。它直接决定了刀具或坐标轴的移动轨迹。

此外,根据系统和设备的不同,还有一些其他指令,如:在数控机床上,还可能有主轴的转速、转向和起、停指令;刀具的选择和交换指令;冷却、润滑装置的起、停指令;工件的松开、夹紧指令;工作台的分度等辅助指令。在基本的数控系统中,它们是通过接口,以信号的形式提供外部辅助控制装置,由辅助控制装置对以上信号进行必要的编译和逻辑运算,放大后驱动相应的执行元件,带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。

(3) 伺服驱动 伺服驱动通常由伺服放大器(亦称:驱动器、伺服单元)和执行机构等部分组成。在数控机床上,目前一般都采用交流伺服电动机作为执行机构;在先进的高速加工机床上,已经开始使用直线电动机。另外,在20世纪80年代以前生产的数控机床上,也有采用直流伺服电动机的情况;对于简易数控机床,步进电动机也可以作为执行元件。伺服放大器的形式决定于执行元件,它必须与驱动电动机配套使用。

以上是数控系统最基本的组成部分。随着数控技术的发展和机床性能水平的提高,对系统的功能要求也日益增强。为了满足不同机床的控制要求,保证数控系统的完整性和统一性,并方便用户使用,常用的较为先进的数控系统,一般都带有内部可编程序控制器作为机床的辅助控制装置。此外,在金属切削机床上,主轴驱动装置也可以成为数控系统的一个部分;在闭环数控机床上,测量检测装置也是数控系统必不可少的。对于先进的数控系统,有时甚至采用计算机作为系统的人机界面和数据的管理、输入/输出设备,从而使数控系统的功能更强、性能更完善。

总之,数控系统的组成决定于控制系统的性能和设备的具体控制要求,其配置和组成具有很大的区别,除加工程序的输入/输出装置、数控装置、伺服驱动这三个最基本的组成部分外,还可能有更多的控制装置。

2. NC(CNC)、SV 与 PC(PLC、PMC)

NC(CNC)、SV 与 PC(PLC、PMC)是数控设备中最为常用的英文缩写,在实际使用中,在不同的场合具有不同的含义。

(1) NC(CNC) 它是数控(Numerical Control)的常用英文缩写。由于现代数控都采用了计算机控制,因此,可以认为NC和CNC的含义完全等同。如前所述,NC(CNC)在广义上代表一种控制技术——数控技术;在狭义上代表一种控制系统的实体——数控系统;此外,还可以代表一种具体的控制装置——数控装置。

(2) SV 它是伺服驱动(Servo Drive,简称伺服)的常用英文缩写。按日本JIS标准规定的术语,它是“以物体的位置、方向、状态等作为控制量,追踪目标值的任意变化的控制机构”。简言之,它是一种能够自动跟随目标位置等物理量的控制装置。

在数控机床上,伺服驱动的控制对象通常是机床坐标轴的位移(包括速度、方向和位置),其执行机构是伺服电动机,对输入指令信号进行控制和功率放大的是伺服放大器(亦称:驱动器、放大器、伺服单元等),实际位移量的检测通过检测装置进行。伺服驱动不仅可以和数控装置配套使用,而且还可以单独作为一个位置(速度)随动系统使用,故也常称为伺服系统。所以,通常情况下,伺服、伺服驱动、伺服系统具有相同的含义,它们都可以用SV表示。此外,和数控系统一样,伺服驱动的核心是伺服放大器,因此,在有些场合,SV也被用来表示伺服放大器。

在数控机床上,伺服驱动的作用主要有两个方面:一是按照数控装置给定的速度运行;二是按照数控装置给定的位置定位。因此,伺服驱动的精度和动态响应性能是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

(3) PC 它是可编程序控制器(Programmable Controller)的英文缩写。随着个人计算机的日益普及,为了避免和个人计算机(亦称:PC)混淆,现在一般都把可编程序控制器称为可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller——PLC)或可编程序机床控制器(Programmable Machine Controller——PMC)。因此,在数控机床上,PC、PLC、PMC具有完全相同的含义。

PLC具有响应快、性能可靠、使用方便、编程和调试容易等特点,并可直接驱动部分机床电器,因此,被广泛用来作为数控设备的辅助控制装置。目前,大多数数控系统都带有内部PLC,用于处理数控机床的辅助指令,从而大大简化了机床的辅助控制装置。

第二节 数控机床的基本组成和工作原理

一、数控机床的基本组成

数控机床是最典型的数控设备。为了了解数控机床的基本组成,首先需要分析数控机床加工零件的工作过程。在数控机床上,为了进行零件的加工,可以通过如下步骤进行:

- 1) 根据被加工零件的图样与工艺方案,用规定的代码和程序格式,将刀具的移动轨迹、加工工艺过程、工艺参数、切削用量等编写成数控系统能够识别的指令形式。即:编写加工程序。

- 2) 将所编写的加工程序输入数控装置。

- 3) 数控装置对输入的程序(代码)进行译码、运算处理,并向各坐标轴的伺服驱动装置和辅助机能控制装置发出相应的控制信号,以控制机床的各部件的运动。

- 4) 在运动过程中,数控系统需要随时检测机床的坐标轴位置、行程开关的状态等,并与程序的要求相比较,以决定下一步动作,直到加工出合格的零件。

5) 操作者可以随时对机床的加工情况、工作状态进行观察、检查,必要时还需要对机床动作和加工程序进行调整,以保证机床安全、可靠地运行。

由此可知,作为数控机床的基本组成,它应包括:输入/输出装置、数控装置、伺服驱动和反馈装置、辅助控制装置以及机床本体等部分,如图 1-1 所示。

图 1-1 所示为数控机床的组成,其中的输入/输出装置、数控装置、伺服驱动和反馈装置构成了机床数控系统,其作用见前述。测量装置的作用是检测数控机床坐标轴的实际位置和移动速度,检测信号被反馈输入到机床的数控装置或伺服驱动中,数控装置或伺服驱动对反馈的实际位置和速度与给定值进行比较,并向机床输出

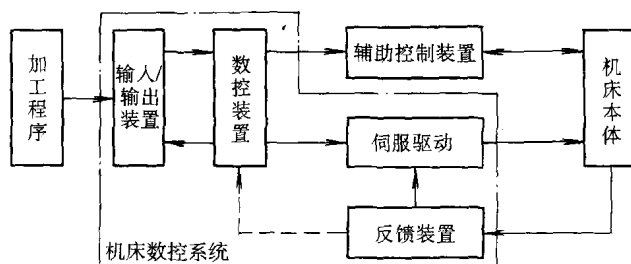


图 1-1 数控机床的组成

新的位移、速度指令。检测装置的安装、检测信号反馈的位置,决定于数控系统的结构形式。由于先进的伺服都采用了数字化伺服驱动技术(称为数字伺服),伺服驱动和数控装置间一般都采用总线进行连接,反馈信号在大多数场合都是与伺服驱动进行连接,并通过总线传送到数控装置。只有在少数场合或采用模拟量控制的伺服驱动(称为模拟伺服)时,反馈装置才需要直接和数控装置进行连接。

数控装置发出的一个进给脉冲所对应的机床坐标轴的位移量,称为数控机床的最小移动单位,亦称脉冲当量。根据机床精度的不同,常用的脉冲当量有 0.01mm、0.005mm、0.001mm 等,在高精度数控机床上,可以达到 0.0005mm、0.0001mm 甚至更小。测量装置的位置检测精度也必须与之相适应。

辅助控制装置的主要作用是根据数控装置输出主轴的转速、转向和启停指令、刀具的选择和交换指令、冷却、润滑装置的启停指令;工件和机床部件的松开、夹紧与工作台转位等辅助指令所提供的信号,以及机床上检测开关的状态等信号,经过必要的编译和逻辑运算,经放大后驱动相应执行的元件,带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。辅助控制装置通常由 PLC 和强电控制回路构成。

机床本体与传统的机床基本相同,它也是由主传动系统、进给传动系统、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等部分组成。但为了满足数控的要求,充分发挥机床性能,它在总体布局、外观造型、传动系统结构、刀具系统以及操作性能方面都已发生了很大的变化。

二、数控机床的工作原理

在传统的金属切削机床上,零件加工是由操作者根据图样的要求,通过不断改变刀具的运动轨迹和运动速度等参数,使刀具对工件进行切削加工,最终加工出合格零件。

数控机床的加工,其实质是应用了“微分”原理。其工作原理如图 1-2 所示,加工过程可以简要描述如下:

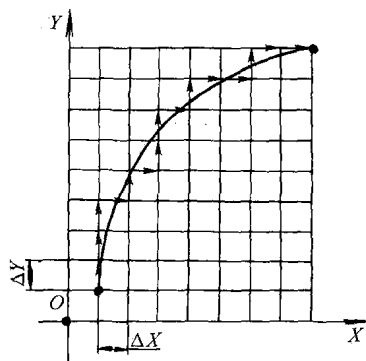


图 1-2 数控机床加工原理

1) 数控装置根据加工程序要求的刀具轨迹,将轨迹按

机床对应的坐标轴，以最小移动量(脉冲当量)进行微分(图 1-2 中的 ΔX 、 ΔY)，并计算出各轴需要移动的脉冲数。

2) 通过数控装置的插补软件或插补运算器，把要求的轨迹用以“最小移动单位”为单位的等效折线进行拟合，并找出最接近理论轨迹的拟合折线。

3) 数控装置根据拟合折线的轨迹，给相应的坐标轴连续不断地分配进给脉冲，并通过伺服驱动使机床坐标轴按分配的脉冲运动。

由上可见：第一、只要数控机床的最小移动量(脉冲当量)足够小，所用的拟合折线就完全可以等效代替理论曲线；第二、只要改变坐标轴的脉冲分配方式，就可以改变拟合折线的形状，从而达到改变加工轨迹的目的；第三、只要改变分配脉冲的频率，就可改变坐标轴(刀具)的运动速度。这样就实现了数控机床控制刀具移动轨迹的根本目的。

以上根据给定的数学函数，在理想轨迹(轮廓)的已知点之间，通过数据点的密化，确定一些中间点的方法，称为插补。能同时参与插补的坐标轴数，称为联动轴数。显然，当数控机床的联动轴越多，机床加工轮廓的性能就越强。因此，联动轴的数量是衡量数控机床性能的重要技术指标之一。

第三节 数控机床的分类

数控机床品种规格繁多，对数控机床的分类方法较多，但定义明确、分类较确切的一般有下面几种分类方法。

一、按加工工艺方法分类

1. 普通数控机床

普通数控机床是指加工用途、加工工艺相对单一的数控机床。按加工用途可以分数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。这些数控机床虽然加工工艺方法各异，控制方式也各不相同，但它们与传统的同类机床相比，具有精度一致性好、生产率和自动化程度高的共同特点。

除了金属切削数控机床以外，数控技术还大量用于压力机、冲床、弯管机、折弯机、电火花加工机床等。此外，非加工设备中也是数控技术应用的重要领域，如：数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等也都广泛采用了数控技术。

2. 加工中心

普通数控机床一般只能进行单一工艺的加工，如前所述，在普通数控机床增加自动换刀装置(ATC)可以成为加工中心。加工中心进一步提高了数控机床的自动化程度和生产效率。以铣、镗、钻加工中心为例，工件通过一次装夹，就可以完成大部分加工面的铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，因此特别适合法兰、箱体类零件的加工。

在实际工程使用中，习惯上将适用于铣、镗、钻类的加工中心，直接称为加工中心；将适合于车削类加工的加工中心，称为车削中心；但只带有回转刀架的数控车床，由于加工用途、工艺相对单一，换刀装置比较简单，故仍称为数控车床。

加工中心可以有效地避免工件多次安装造成的定位误差，且减少了机床的台数和占地面积，缩短了辅助时间，大大提高了生产率和加工质量，因此，它是目前数控机床中产量最大、应用最广的数控机床。特别是最近，国外已经开发生产了集铣、镗、钻、车、

磨等加工于一体的数控加工机床，此类加工中心，由于其用途十分广泛，因此被称为“万能加工中心”。

如前所述，在加工中心的基础上，通过增加多工作台(托盘)自动交换装置(APC)以及其他相关装置，组成的加工单元称为柔性加工单元(FMC)。FMC是柔性制造系统的基础，因此，通常归入柔性制造系统的领域。

二、按伺服驱动的特点分类

1. 开环控制数控机床

无位置反馈装置的数控机床称为开环控制数控机床。使用步进电动机(包括电液脉冲马达)作为伺服执行元件，是其最明显的特点。在开环控制数控机床中，数控装置输出的脉冲，经过步进驱动器的环形分配器或脉冲分配软件的处理，并通过驱动电路进行功率放大，最终控制了步进电动机的角位移。步进电动机再经过减速装置(或直接连接)带动了丝杠旋转，通过丝杠将角位移转换为移动部件的直线位移。因此，控制步进电动机的转角与转速，就可以间接控制移动部件的移动速度与位移量。图1-3a为开环数控机床伺服驱动部分的结构原理图。

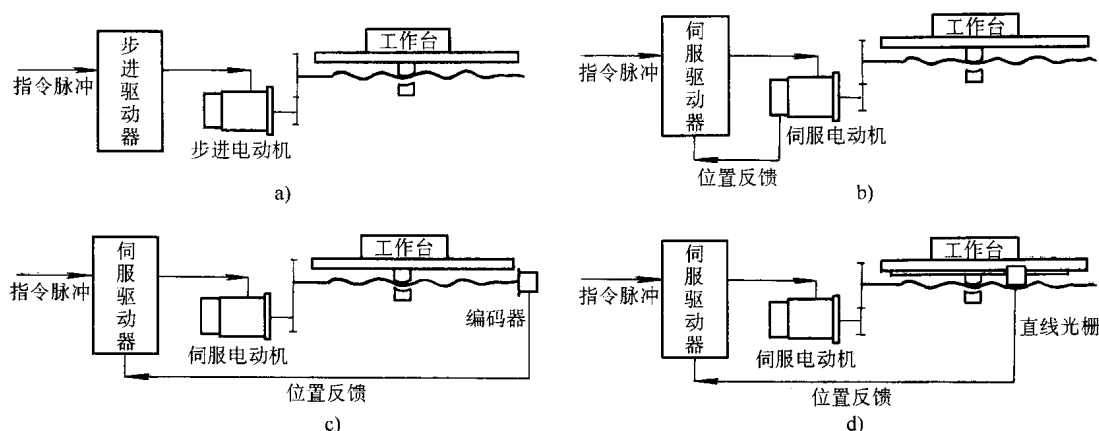


图 1-3 伺服驱动结构示意图

a) 开环控制 b)、c) 半闭环控制 d) 全闭环控制

开环控制数控机床结构简单，制造成本较低，但是，由于系统对移动部件的实际位移量不进行检测，因此无法通过反馈自动进行误差检测和校正。另外，步进电动机的步距角误差、齿轮与丝杠等部件的传动误差，最终都将影响被加工零件的精度，特别是在负载转矩超过电动机输出转矩时，将导致步进电动机的“失步”，使加工无法进行。因此，开环控制仅适用于加工精度要求不很高，负载较轻且变化不大的简易、经济型数控机床上。

2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是：机床的传动丝杠或伺服电动机上装有角位移检测装置(如光电编码器等)，通过它检测丝杠的转角，从而间接地检测了移动部件的位移。角位移信号被反馈到数控装置或伺服驱动中，实现了从数控装置到电动机输出转角间的闭环自动调节。同样，由于伺服电动机和丝杠相连，通过丝杠将旋转运动转换为移动部件的直线位移，因此，间接控制了移动部件的移动速度与位移量。这种结构，只对电动机或丝杠的角位移进行了闭环控制，没有实现对最终输出的直线位移的闭环控制，故称为“半闭环控制”。