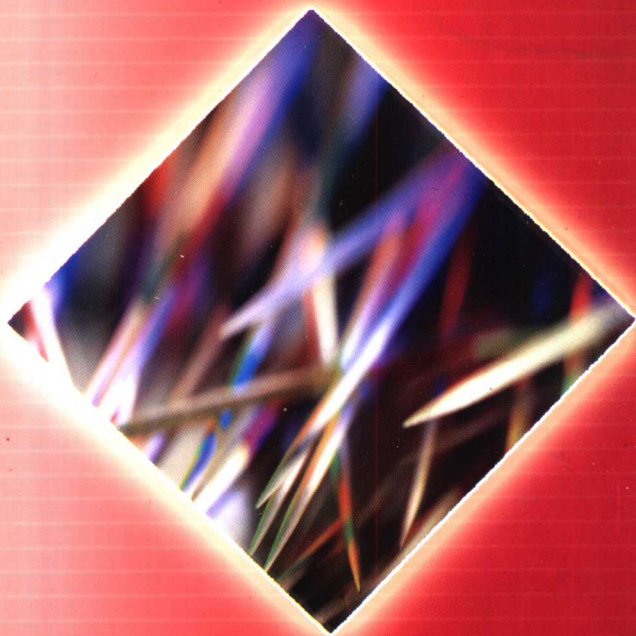




教育科学“十五”国家规划课题研究成果

数控技术

董玉红 主编



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

数控技术

主 编	董玉红	
副主编	龚仲华	肖耘亚
参 编	于 雷	罗建国
	戴惠良	刘宏伟
主 审	邵俊鹏	

高等教育出版社

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

本书全面系统地讲述了现代数控机床的基本原理与控制技术。全书共分 6 章,第 1~5 章围绕计算机数控(CNC)机床的各个组成部分,介绍计算机数控(CNC)装置、数控检测装置、数控伺服系统、数控机床的机械结构和数控加工编程等,第 6 章介绍数控技术的发展趋势。全书内容清晰,结构紧凑,实用性强。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校相关专业的教材,亦可作为从事机械制造的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/董玉红主编. —北京:高等教育出版社,
2004. 2

ISBN 7-04-013971-5

I. 数... II. 董... III. 数控机床-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 123559 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
电 话 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京市卫顺印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 20.25
字 数 380 000

版 次 2004 年 2 月第 1 版
印 次 2004 年 2 月第 1 次印刷
定 价 25.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在做研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究的在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色,适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

计算机数控(CNC)系统是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新颖的控制系统,通常称现代数控系统。现代数控系统综合运用了计算机、自动控制、电气传动、精密测量、机械制造等多门技术而发展起来的,它是自动化机械系统、机器人、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等高技术的基础,同时也是 21 世纪机械制造业进行技术更新与改造,向机电一体化方向发展的主要途径和重要手段。

全书结构严谨,内容取材新颖,注重系统性与实用性相结合。在编写中力求反映目前大中企业中普遍应用的数控技术,注重工程实践能力的培养,并对数控机床的基础知识、核心技术和最新成就给以全面系统的阐述。全书共分 6 章,在绪论中介绍数控机床的产生和发展过程以及数控机床的特点、组成与分类等;第 1 章计算机数控(CNC)装置中主要介绍数控装置的软硬件结构、插补原理及 CNC 装置的刀具补偿,并介绍数控系统中的可编程控制器(PLC)和数控系统中的接口电路;第 2 章数控检测装置中主要介绍数控机床伺服系统中常用的几种检测装置,并对每种检测装置的结构、工作原理及应用进行介绍;第 3 章数控伺服系统中首先介绍数控机床对伺服系统的要求及伺服系统的分类,然后介绍常用伺服元件包括步进电动机、直流电动机、交流电动机和直线电动机的结构及调速原理,最后介绍步进式伺服系统、三种闭环伺服系统和 CNC 数字伺服系统的组成及工作原理;第 4 章数控机床的机械结构中主要介绍数控机床的机械结构特点,对数控机床机械结构的各组成部分:主传动系统、进给传动系统、基础支撑件(导轨)、辅助装置(自动换刀装置、回转工作台)等结构原理进行讲述;第 5 章详细讲述数控加工编程的基础知识,对数控车床、数控铣床和加工中心的编程结合实例进行讲述,还介绍了自动编程技术;第 6 章介绍数控机床的发展展望以及数控技术向柔性制造系统(FMS)、直接数字控制(DNC)和计算机集成制造系统(CIMS)几个方向的发展趋势。

本书由哈尔滨理工大学董玉红统稿并任主编,常州工学院龚仲华和广东韶关学院肖耘亚担任副主编。参加本书编写的老师有华东大学戴惠良(绪论)、哈尔滨理工大学董玉红(第 1 章)、华北科技学院罗建国(第 2 章)、长春工程学院

于雷(第3章)、常州工学院龚仲华(第4章)、广东韶关学院肖耘亚(第5章)和南阳理工学院的刘宏伟(第6章)。

哈尔滨理工大学邵俊鹏教授对本书进行审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2003年8月

目 录

绪论	1
0.1 数控机床的产生与发展	1
0.2 数控机床的组成	8
0.3 数控机床的分类	11
复习题	16
第1章 计算机数控 (CNC) 装置	17
1.1 概述	17
1.2 CNC 装置的硬件结构	25
1.3 CNC 装置的软件结构	32
1.4 CNC 装置的插补原理	35
1.5 CNC 装置的刀具补偿与加减速控制	52
1.6 CNC 系统中的 PLC	63
1.7 CNC 系统的接口电路	71
复习题	76
第2章 数控检测装置	77
2.1 概述	77
2.2 旋转变压器	78
2.3 感应同步器	81
2.4 光栅	84
2.5 磁栅	88
2.6 光电脉冲编码器	90
复习题	93
第3章 数控伺服系统	94
3.1 概述	94
3.2 伺服系统的驱动元件	97
3.3 步进式伺服系统	108
3.4 鉴相式伺服系统	116
3.5 鉴幅式伺服系统	122
3.6 脉冲比较式伺服系统	128
3.7 CNC 数字伺服系统	132
复习题	138

第 4 章 数控机床的机械结构	139
4.1 概述	139
4.2 数控机床的总体布局	143
4.3 数控机床的主传动系统	150
4.4 数控机床的进给传动系统	156
4.5 数控机床的导轨	168
4.6 数控机床的自动换刀装置	174
4.7 数控机床的回转工作台	186
复习题	192
第 5 章 数控加工编程	194
5.1 概述	194
5.2 数控编程的基础知识	198
5.3 工艺分析与数值计算	216
5.4 数控车床编程	233
5.5 数控铣床编程	257
5.6 加工中心编程	269
5.7 自动编程简介	289
复习题	293
第 6 章 数控机床及数控技术的发展趋势	295
6.1 数控机床的发展展望	295
6.2 柔性制造系统 (FMS)	298
6.3 直接数字控制 (DNC)	302
6.4 计算机集成制造系统 (CIMS)	308
复习题	311
参考文献	312
后记	314

绪 论

0.1 数控机床的产生与发展

0.1.1 数控机床的产生

随着科学技术和社会生产力的迅速发展,人们对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化成为实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品质量、生产率,降低生产成本,还能够极大地改善工人的劳动条件,减轻劳动强度。

在机械制造业,广泛采用了自动机床、组合机床和以专用机床为主体的自动生产线,用多刀、多工位和多面同时加工,成年累月地进行着单一产品零件的高效率和高度自动化的生产。但这种生产方式需要巨大的初期投资和很长的生产准备周期,因此,它仅适用于批量较大的零件生产。

在机械制造业中,单件与小批生产的零件仍然占机械加工总量的 80% 左右,尤其是航空、航天、船舶、机床、重型机械、食品加工机械、包装机械和军工产品等,不仅加工批量小,而且加工零件形状比较复杂,精度要求也很高,还需要经常改型。如果仍采用专用化程度很高的自动化机床加工这类产品的零件就显得很不合理。经常改装和调整设备,对于这种专用的生产线来说,不仅会大大提高产品的成本,甚至是不可能实现的。市场经济体制日趋成熟,绝大多数的产品都已从卖方市场转向买方市场,产品的竞争十分剧烈,迫使生产企业不断更新产品,提高产品的性能价格比,以满足用户的需要。由于这种以大批量生产为主的生产方式使产品的改型和更新变得十分困难,用户所得到的相对低廉价格的产品是以牺牲用户对产品的某些性能为代价换取的。因此,企业为了保持产品的市场份额,即使是以大批量生产为主的企业也必须改变产品长期一成不变的传统做法。这样,这种“刚性”的自动化生产方式在批量生产中也已日益暴露其不适应性。

多年来已经使用的各类仿形加工机床部分地解决了中小批量复杂零件的加工,

但在改变加工零件时必须制造靠模和调整机床,这不但耗费了大量的手工劳动,增加了生产准备周期,而且靠模误差的影响使加工零件的精度很难达到较高的要求。

数控技术和数控机床的诞生使解决上述问题,实现多品种、小批量产品零件的自动化生产成为可能。数控机床是一种用计算机以数字指令方式控制的机床,它一经产生就以惊人的速度向前发展,成为一种灵活、通用、能够适应产品频繁改型的“柔性”自动化机床。数字控制(Numerical Control, NC)在机床领域是指用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制。近20年来发展起来的计算机数控(Computer Numerical Control, CNC),是用一个存储程序的专用计算机,由控制程序来实现部分或全部基本控制功能,并通过接口与各种输入输出设备建立联系,更换不同的控制程序,可以实现不同的控制功能。

数控机床的工作过程是将加工零件的几何信息和工艺信息进行数字化处理,即对所有的操作步骤(如机床的启动或停止、主轴的变速、工件的夹紧或松夹、刀具的选择和交换、切削液的开或关等)和刀具与工件之间的相对位移以及进给速度等都用数字化的代码表示。在加工前由编程人员按规定的代码将零件的图纸编制成程序,然后通过程序载体(如穿孔带、磁带、磁盘、光盘和半导体存储器等)或手工直接输入(MDI)方式将数字信息送入数控系统的计算机中进行寄存、运算和处理,最后通过驱动电路由伺服装置控制机床实现自动加工。数控机床最大的特点是当改变加工零件时,一般只需要向数控系统输入新的加工程序,而不需要对机床进行人工的调整和直接参与操作,就可以自动地完成整个加工过程。

数控机床的研制最早是从美国开始的。20世纪40年代世界上首台数字电子计算机的诞生,使数控机床的出现成为可能。1948年美国帕森斯公司(Parsons Co.)在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,首先提出了用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新理念,受美国空军的委托与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所进行合作研制,在1952年研制成功了世界上第一台用专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。研制过程中采用了自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等方面的技术成果。后来又经过改进,于1955年实现了产业化,并批量投放市场,但由于技术上和价格上的原因,只局限在航空工业中应用。数控机床的诞生,对复杂曲线、型面的加工起到了非常重要的作用,同时也推动了美国航空工业和军事工业的发展。

0.1.2 数控机床的发展

1. 数控机床结构的发展

数控机床在发展的最初阶段,一般是在传统的机床上配备数控系统,并对某些结构进行改进而成为一台数控机床。随着对数控机床功能要求的不断提高,传统机床结构刚度、抗振性、热变形以及低速爬行等性能已不能满足数控机床的

要求。这是由于数控机床是完全按照数控装置发出的指令,在没有人干预的情况下自动进行加工的,因此数控机床在机械结构上必须比传统机床有更好的静刚度、动刚度和热刚度。提高数控机床的几何精度,其进给传动链也必须有足够的刚度,并采用消除传动间隙的装置,同时必须采用滚珠丝杠传动和滚动导轨以消除低速爬行,实现微量进给以保证数控机床很高的重复定位精度。

20 世纪 60 年代初期,在一般数控机床的基础上又开发了数控加工中心机床,这是对数控机床的重大发展,数控加工中心机床至今仍然被公认为功能最完善的自动化单机。它是在一般数控机床(如镗床、铣床和车床等机床)上加装刀具数量不等的刀库和自动换刀装置。工件在一次装夹中可以连续地进行铣、镗、钻、铰以及攻螺纹等多工序的加工。与一般数控机床相比减少了机床的占地面积、机床的台数、在制品的库存量、工序间的各种辅助时间,最终有效地提高了生产率。目前刀库的刀具容量可以多达 200 把,自动换刀的时间仅需 0.9 s(刀到刀)和 2.8 s(切削到切削),工作台(托盘)的交换时间 6.3 s。更具有实际意义

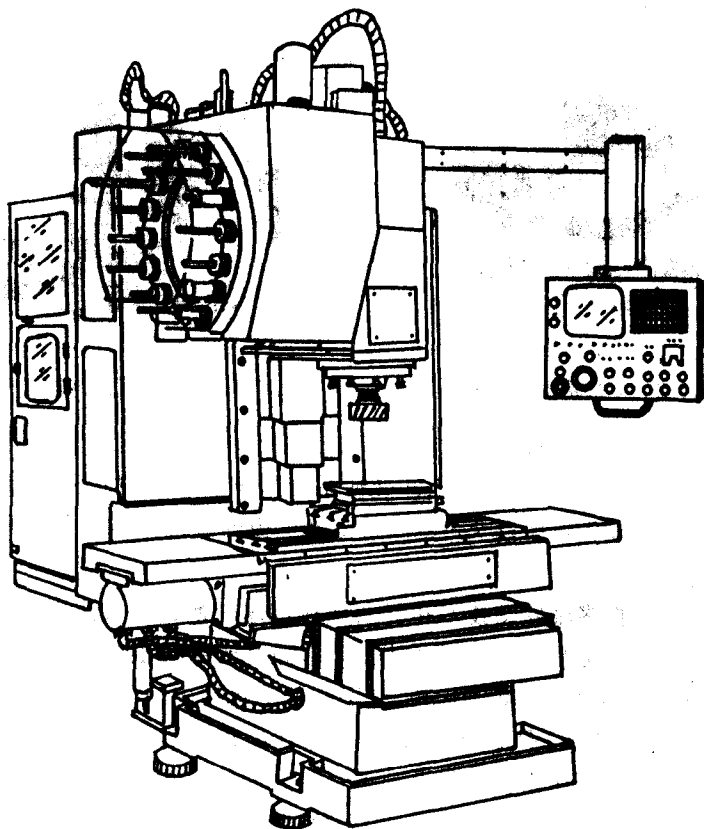


图 0.1 立式镗铣加工中心

的是减小了工件在多次安装中的定位误差,完全可以依靠机床本身的精度保证工件的加工质量。图 0.1 所示是一台立式镗铣加工中心 (TH5632A), 工作台面尺寸 $1\,000\text{ mm} \times 320\text{ mm}$, 其行程为 $750\text{ mm} \times 400\text{ mm} \times 470\text{ mm}$ 。图 0.2 所示是由日本三井精机生产的 VU50A 型立式精密加工中心, 其行程为 $700\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 450\text{ mm}$, 全行程精度可达 $\pm 0.001\text{ mm}$ 。

20 世纪 70 年代后期, 在数控加工中心机床的基础上又发展了五面体加工中心。它是为了在一次装夹中完成除了安装底面以外的所有表面和精密孔系加工。由于采用了刚性极好的床身、立柱等结构和立式/卧式转换主轴部件或立式/卧式一体化主轴部件, 对于如加工箱体零件、汽车覆盖件模具和船用柴油机缸体等工件具有很高的加工精度、机床利用率和综合经济效益。这是由于五面体加工中心使切削时间占总时间的比例成倍增加, 并大幅度减少了切削准备时间和测量时间的结果。图 0.3 所示为龙门式五面体加工中心 (刀库及自动换刀装置未在图中表示出), 其主轴部件可以自动更换为立式或卧式布局, 以满足工件不同表面的加工需要。

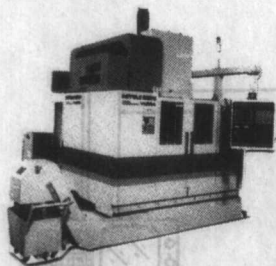


图 0.2 立式精密加工中心

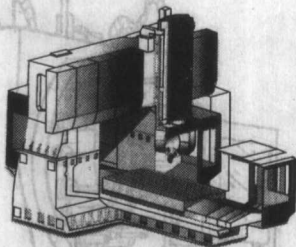


图 0.3 龙门式五面体加工中心

在数控加工中心出现以后, 加工工序的进一步集中仍然是数控机床发展的趋势。例如, 带有工业机器人和工件交换系统的车削加工中心和带有工件交换系统的数控齿轮加工机床以及可以自动更换电极的电火花加工中心机床都体现了这种趋势。

在计算机数控多轴联动技术和复杂坐标快速变换运算方法发展的基础上, 20 世纪 60 年代出现的 Stewart 平台概念 (即同时改变六根杆子长度, 实现六个自由度运动), 到 20 世纪 90 年代初, 应用在数控机床成为可能。六杆数控机床 (又称并联数控机床) 是 20 世纪最具革命性的机床运动结构的突破, 引起了普遍关注。该数控机床由基座与运动平台及其间的六根可伸缩杆件组成, 每根杆件的两端通过球面支承分别将运动平台与基座相连, 并由伺服电动机和滚珠丝杠按数控指令实现伸缩运动, 使运动平台带着主轴部件作任意轨迹的运动。

工件固定在基座上,刀具相对工件作六个自由度的运动,实现所要求的空间加工轨迹。图 0.4 所示为六杆加工中心的机构原理图。六杆数控机床既有采用滚珠丝杠驱动又有采用滚珠螺母驱动。六杆数控机床的关键技术之一是六对球面支承的设计与制造,球面支承将对运动平台的运动精度和定位精度产生直接影响。六杆数控机床采用运动聚合原理,改变传统的机床结构和布局。重量较轻的主轴部件和切削刀具由六根杆件分摊受力,具有比传统结构更高的刚度。特别在高速运动时,由于运动部件的质量大幅度减小,改善了机床的动态特性,更显示了它的优点。六杆数控机床的六杆结构使误差平均化,因而能够达到很高的重复定位精度,避免了传统机床的几何结构误差。由于采用虚拟轴实现刀具与工件的定位,使工件的装夹和调整大为简化。

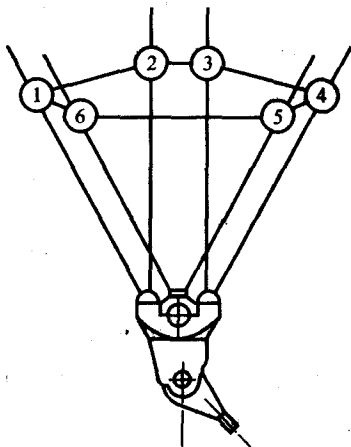


图 0.4 六杆加工中心机构原理图

六杆数控机床的结构较简单,而且由六套完全相同的功能部件构成,可使成本下降。由于采用了能进行高速坐标运算的计算机,它能够实现快速运动和精确定位。Stewart 平台式的数控机床通常都是立式布局的,近年来出现了卧式布局六杆数控机床,改善了立式数控机床工件的可接近性和加工空间相对机床所占空间之比低的缺陷,这又是一次六杆数控机床的重大改进。但是,它的加工范围因机床是并联结构,其旋转坐标轴的运动范围,受到较大的限制。同时,其坐标轴运动控制由于其相关性而显得比较复杂。

2. 数控系统的发展

半个世纪以来,数控系统已由专用计算机硬线数控发展为以超大规模集成电路微处理器为核心的计算机数控,也称为软线数控或现代数控。数控机床自 20 世纪 70 年代采用计算机数控之后,发展成为现代数控机床,它从根本上解决

了数控机床的可靠性、性价比和编程等关键问题,因而在世界各国都得到普遍应用和推广。

20 世纪 90 年代以来,个人计算机(PC 机)的性能已发展到了相当高的水平,其硬件性能和软件资源都足以满足数控系统的需要。由于采用了工业控制级的 PC 机,除了具有通用 PC 机的卓越性能之外,其可靠性指标平均无故障间隔时间(Mean Time Between Failures, MTBF)已从 10 000 h 提高到了 125 个月。随着 PC 机产品的频繁升级换代,且 PC 机上几乎所有的新技术都能应用于数控系统,使数控系统更新期大大缩短。由于提供了开放式平台,开发出了可供数控系统应用的极为丰富的软件资源,使数控功能得到了极大的扩展。更为有利的是凡在 PC 机上可运行的 CAD/CAM 等软件都能在数控系统中运行。与早期数控装置相比,基于 PC 机平台的数控系统不仅使控制轴的数目大大增多,而且其功能也远远超出了控制刀具运动轨迹和机床动作的范畴,并且能够完成自动编程、自动检测、故障诊断与通信等功能。

3. 伺服系统的发展

数控机床的伺服系统是实现机床轴运动(包括进给运动、主轴运动及位置控制)的关键的系统之一。它的性能对数控机床的重复定位精度、动态响应特性以及最高空程运动速度具有重要影响。同时伺服系统的发展对数控机床的发展也产生了不可估量的影响。

伺服系统的发展经历了几个阶段。20 世纪 60 年代初期,曾在数控机床上采用液压伺服系统,液压伺服系统与当时传统的直流电动机相比,具有响应时间短、输出相同扭矩的伺服部件的外形尺寸小等优点。但由于液压伺服系统存在着发热量大、效率低、污染环境和不利于维修等缺点,因此逐步被步进电动机和新型伺服电动机所代替。

20 世纪 60 年代后期,小功率伺服型步进电动机和液压扭矩放大器所组成的开环系统曾一度广泛应用于数控机床。其最有代表性的是日本 FANUC 公司的电液脉冲马达伺服系统。但由于该系统结构过于复杂,可靠性差等缺点,在几年以后就被其它伺服系统所取代。功率型步进电动机的问世,步进电动机开始直接用于驱动数控系统的进给运动。功率型步进电动机驱动系统没有积累误差、定位精度较高、运动锁定性好,而且结构简单、便于制造,成本也比较低廉。迄今,这种驱动系统在运动速度较低、输出扭矩不太大的经济型数控机床上仍然得到普遍应用。近年来步进电动机的细分控制技术和新型步进电动机驱动器的发展,成功地解决了步进电动机大细分步数的问题。获得大细分步数的途径是采用空间矢量算法求得电流对步进电动机各相绕组同时通以分级变化的电流,相应地形成了多个中间状态的磁场矢量,从而使细分步数大为增加。最大的细分步数可达 500,被细分的步距角相当精确,因此能够实现精确定位。细分步技

术的突破不仅提高了控制系统的分辨率,而且大大改善了步进电动机的步与步间转换的快速响应特性和运动平稳性。因此,采用细分步的步进电动机在输出扭矩较小、重复定位精度高和运动平稳性要求高的小型化精密数控设备上得到了相当广泛的应用。

20 世纪 60 年代中期,在数控机床上也曾经广泛使用小惯量直流电动机,它通常做成无槽圆柱电枢和带印刷绕组的盘状电枢结构。由于圆柱形电枢转子通常设计为细长结构(长度与直径之比为 5:1),因此其转动惯量一般只有普通直流电动机的 1/10,机械和电气时间常数很小,能使伺服系统获得较好的动态响应特性。当时由于大功率晶闸管整流器的价格大幅度下降,更促进了它的应用。为了能获得电动机良好的加速特性,除了设计成小惯量电枢之外,还必须使小惯量直流电动机处于高额定转速下运行(最高可达 5 000 r/min)。这就带来了新的问题,即必须在直流电动机上增加精密的中间齿轮传动进行减速,以降低输出转速并增大输出扭矩,然后再驱动丝杠实现各相应轴的进给运动。其结果是使电动机的结构变得更为复杂,而且具有一定传动精度的齿轮减速器的价格有时甚至超过了电动机本身的价格,一旦减速齿轮出现磨损,就会增大了传动间隙,将直接影响传动精度。直流电动机电枢惯量的减小也带来了另一个问题,即增加了与被驱动的较大惯量运动部件(如:工作台、移动横梁等)惯量匹配的难度。小惯量直流电动机的这些明显缺点,客观上进一步推动了研究开发新一代既能获得大扭矩又能低速运行并便于与被拖动的载荷相匹配的更新型直流电动机的进程。

20 世纪 70 年代,美国 GETTYS 公司首先研制成功了大惯量直流电动机,即宽调速直流电动机。这种电动机的峰值扭矩可以达到额定扭矩的 10~15 倍,由于保持了大的扭矩/惯量比,因而大惯量直流电动机仍然具有与小惯量直流电动机相同的快速响应特性。它的调速范围很宽(0.1~2 000 r/min),可以直接与丝杠相连接。另外由于电动机转子本身的惯量较大,简化了与机床进给运动部件惯量的匹配,被驱动部件的惯量可以忽略不计。采用电动机直接与丝杠连接的简单方式,能使各伺服轴获得良好的动态响应特性、稳定性,甚至在系统中只需要设置位置反馈,而不需要速度反馈的情况下正常运行。大惯量直流电动机的另一个优点是热容量大,由于绕组采用了耐高温和高强度的漆包线,当峰值电流增加数倍的情况下,仍允许电动机在很高的温度下超载运行几十分钟。由于上述的原因,20 世纪 70 年代以来大惯量直流电动机一直广泛应用于各类数控机床,并获得了良好的效果。但直流电动机由于结构上的原因必须带有整流子和电刷,其结构显得较为复杂,通常在运行一段时间以后就会由于滑动摩擦而产生磨损,增加了整流子和电刷之间的接触电阻,影响了电动机的稳定运行,降低了系统的可靠性,因而需要经常对电动机进行保养和维修。

20 世纪 80 年代以来,随着大规模集成电路、电力电子学和计算机控制技术

的发展,特别是用计算机对交流电动机的磁场进行矢量控制技术的重大突破,使长期以来人们一直试图用交流电动机取代直流电动机应用在调速和伺服控制中的设想得以实现。虽然交流电动机具有结构简单,无整流子和电刷,转速的提高限制较少,易于维修和坚固耐用等优点,但是大多数普通的交流电动机是异步感应的鼠笼式电动机,其速度与扭矩不能像直流电动机那样方便地进行独立控制,以满足数控伺服系统的要求。因此,为了实现交流电动机的调速和伺服功能,世界各工业化国家曾投入了大量的人力和经费,直至突破了上述的关键技术,并实现了产业化,才使交流调速及其伺服电动机开始广泛应用于各种类型的数控机床的主轴驱动和进给运动。交流伺服系统几乎保留了直流伺服系统的所有优点,具有调速范围宽、稳速精度高和动态响应特性好等优良的技术特性,而且继承了交流电动机本身固有的许多优良性能,因而成为迄今为止最为理想的伺服系统。交流伺服驱动不仅成功地应用于数控机床的进给系统,达到了很高的重复定位精度,而且广泛应用于数控机床的主运动系统,特别是某些数控机床或加工中心要求主轴与进给系统保持严格的同步控制的螺纹切削以及为了主轴的自动刀具更换要求实现主轴高精度准停控制。对大平面的车削还要求主轴的转速能随刀具的位置进行变化实现恒线速度表面切削,加工中心机床要求主轴具有任意角度的分度控制等。因此,交流伺服电动机正在取代直流伺服电动机,越来越广泛地应用于现代数控机床,成为数控机床主轴和进给系统的理想选择,对传动功率要求较大的数控机床,交流伺服系统已成为首选方案。

由于作为检测器件的脉冲编码器的分辨率和可靠性的不断提高,将脉冲编码器与直流伺服电动机或交流伺服电动机组成一体的半闭环伺服系统极大地简化了数控机床的总体结构,为数控机床性能的全面提高发挥了重要作用。

0.2 数控机床的组成

0.2.1 数控机床的组成

现代数控机床,即 CNC 机床,是由普通机床、硬线数控机床发展演变而来,它采用计算机数字控制方式,用单独的伺服电机驱动实现各个坐标方向的运动。如图 0.5 所示,CNC 机床由信息输入、数控装置、伺服驱动及检测装置、机床本体、机电接口等五大部分组成。

1. 信息输入

信息输入是将加工零件的程序和各种参数、数据通过输入设备送到数控装置,输入方式有穿孔纸带、磁盘、键盘(MDI)、手摇脉冲发生器等。目前较多采用