



中等职业教育新编规划教材

中等职业教育新编规划教材专家指导委员会审定

数控车床 编程及实训

SHUKONG CHECHUANG BIANCHENG JI SHIXUN

主编 ◎ 吴晓东 孙智俊

主审 ◎ 宋树恢

合肥工业大学出版社

中等职业教育新编规划教材

中等职业教育新编规划教材专家指导委员会审定

数控车床编程及实训

主 编 吴晓东 孙智俊

副主编 王 华 樊国朝 黄云林

主 审 宋树恢

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控车床编程及实训/吴晓东,孙智俊主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2007.7

ISBN 978-7-81093-588-3

I. 数… II. ①吴… ②孙… III. ①数控机床:车床—程序设计—专业学校—教材
②数控机床:车床—操作—专业学校—教材 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 109035 号

数控车床编程及实训

主编 吴晓东 孙智俊

责任编辑 汤礼广

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2007 年 7 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2007 年 7 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787×1092 1/16
电 话	总编室:0551-2903038	印 张	11.75
	发行部:0551-2903198	字 数	270 千字
网 址	www.hfutpress.com.cn	印 刷	合肥创新印务有限公司
E-mail	press@hfutpress.com.cn	发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-81093-588-3

定价:19.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

《中等职业教育新编规划教材》

专家指导委员会

荣誉主任 朱家诚 孔 辉

主任委员 (以姓氏笔画为序)

丁士中	马国锋	王 军	王亚平	田高粱
刘淑芬	许建新	李建军	任祖民	阮五洲
孙玉林	陈爱娥	吴丁良	吴建潮	杜 明
张厚林	郑红梅	宫元秀	武传陆	姚志浩
徐 震	常立康	黄庭曙	程 钢	詹镜青
翟 敏	薛 杰			

《中等职业教育新编规划教材》

编 委 会

主 任 王 诚

副主任 刘尚华 姚卫宁 胡晓红 吴晓东

编 委 (以姓氏笔画为序)

马继成	马长阅	开 俊	王志宏	尤晓英
刘 言	刘纯根	刘 媛	邢良言	吕新国
陈 娟	李 华	李慧兰	李禹德	陆思忠
沈国骏	凌 新	徐大山	徐 海	徐 黎
曹东田	游 平	程 亮	程幸春	储国斌
储立群	彭海涛	鲍秀斌	樊国朝	魏 敏

《中等职业教育新编规划教材》出版说明

我们正处于一个变革的时代，一个创新与超越的时代。在这场前所未有的变革中，职业教育正在从社会边缘走向社会中心，成为影响我国经济和社会发展的的重要因素之一。职业教育的改变和发展从来没有像今天这样备受瞩目，职业教育也从来没有像今天这样承载着如此沉重的历史使命和面临着如此多的挑战，职业教育呼唤着新的理念和新的课程，职业教育需要从本质上转变传统的教学观和课程观。基于这一背景，根据教育部制定的技能型紧缺人才培养工程专业教改方案，在参考劳动与社会保障部制定的《国家职业标准》中相关工种等级考核标准和借鉴国外先进的职业教育理念、模式和方法的基础上，结合目前我国中等职业教育的实际情况，我们组织编写了这套《中等职业教育新编规划教材》。

课程是学校教育的核心。在课程开发过程中所做出的决策，不管是有意还是无意的，都极大地影响着教师教什么、怎么教，学生学什么、怎么学。随着时间的推移，新的知识又在实践中不断发生着变化，这些变化对课程又有着深刻的影响。因此，课程开发是一个持续不断的过程。

那么，采用什么标准来决定哪些知识应该纳入课程呢？技能是单独来教还是在解决真实问题时教？理论和实践应该怎样联系起来才能改进教学？教学过程中采用哪些方法更有利于提高教学效果？

过去在解决上述这些问题时，我们曾获得了许多有益的经验。借鉴这些宝贵经验，我们编写本套教材时力图体现以下特色：

(1) “导、学、做合一”的职业教育思想。结合中等职业学校的培养目标，在教材内容选择上，力求降低专业理论的重心，突出与操作技能相关的必备专业知识；在教学思想贯彻上，注重充分发挥教师引导、学生在任务引领下构建知识和技能的现代职业教育理念的作用；在结构和内容安排上，保证理论实践一体化等教学方法的实施。

(2) 改变传统的单科独进式的专业课程体系，实现课程综合化和模块化。将专业基础知识与实训项目综合在一起，配套设置成实践性教学训练教材，以贴近学生生活实例和工作任务为基础，激发学生学习兴趣，体现生本教育思想。

(3) 紧扣中等职业教育的培养目标，坚持削繁就简和实用的原则。如本套教材中将《机械制图》改为《机械识图》，目的是着重提高中等职业学校学生的读图能力；在《机械基础》中删除了有关机械原理的论述和复杂计算；把机械制造工艺知识及测量技术与实训项目结合起来，以提高教学效率，同时培养学生理论联系实际的优良学风，等等。

尽管本套教材的编写人员大多来自中等职业学校教学第一线，有着丰富的教学经验和强烈的教改意识，但由于时间仓促，教改水平也有限，因此不当之处恳请读者批评指正。

《中等职业教育新编规划教材》编委会

2007年7月



前 言

中国自从加入世界贸易组织后正逐步成为世界制造业大国,目前应用高新技术,特别是利用信息技术改造传统产业、促进产业结构优化升级,已成为制造业发展的主题之一。数控机床是现代机械工业的重要技术装备,也是先进制造技术的基础装备。数控机床综合了计算机、自动控制、电机与拖动、电子与电力、自动检测、气压和液压以及精密机械等方面的技术,数控机床的高精度、高效率及高柔性决定了发展数控机床是我国机械制造业技术改造的必由之路,是未来自动化的基础。随着微电子技术、计算机技术、自动化技术的发展,数控机床也得到了飞速发展,在我国几乎所有的机床品种中都有数控机床。随着数控机床的发展,企业对数控机床操作人员、编程人员的数量需求不断扩大,对其素质要求也在不断提高。本着为学生提供实用性教材,使其在短时间内提高数控操作技术水平和编程能力,为企业提供急需人才,我们特编写此教材。

本教材是根据劳动与社会保障部制定的《国家职业标准》中有关数控工种的中级工等级考核标准编写的。在具体编写过程中,编者结合自己的实践和教学经验,从数控机床的基础原理及基本操作讲起,系统介绍了数控机床的编程基础知识以及加工工艺安排的知识。考虑数控车床市场的系统使用及占有率,因此,对每一个例题的加工编程,均采用日本的 FANUC 数控系统及德国的 SIEMENS802s/c 数控系统进行对比讲解。

本教材的主要特点是:

(1)体现“教”、“学”、“做”合一的职业技术教育思想。针对中等职业学校的培养目标,降低对专业理论的要求,突出编程与操作的基本知识。在结构和内容上保证理论和实践一体化等先进教学方法的实施。

(2)结合大量编程实例,逐步增加编程所用代码以及加工零件难度,对加工工艺的安排也是按照由浅入深的原则进行。

(3)紧扣本专业的教学培养目标,坚持简单实用原则,强调知识的实际应用。每一章节在对编程知识介绍时,也只介绍本章节所用的编程代码,随着章节加工内容的难度增加,编程代码逐步增加,以适应职业教育的教学要求。

本教材共分十五章,前三章分别介绍了数控机床原理、机床操作基础与编程知识;第四章到第十章介绍了构成零件几何特征体的编程知识;第十一章介绍了零件加工精度的控制方法;第十二章介绍循环编程知识(组合体零件的编程方法);第十三章介绍常见零件的编程方法。第十四章、第十五章作为数控中级工的提高知识来介绍。教学过程中,也可将内孔加工作为数控中级工的提高知识来介绍。在每一章后均布置了相应内容的习题。附录中增加了常用加工工艺参数的选择;常用螺纹的深度值及加工次数的确定;国产华中数控系统编程指令表、广州数控系统指令表以及常用数控术语的中英文对照表,以供学习。

本教材教学学时建议安排 128 课时(选学课时不统计在内)。在实际机床操作加工中,学校可根据自己的实际情况,选用数控加工系统进行教学。华中数控系统以及广州数控系统可参照日本 FANUC 数控系统进行学习。从第四章开始的编程学习课时可适当安排使用数控仿



真软件,以进一步加强和巩固编程知识的学习,其中编程的课时与仿真软件使用的课时最好为1:1的比例关系。建议整册书中的数控编程、数控仿真、数控操作课时比为1:1:2。建议课时分配如下(供参考):

章 节	内 容	编程仿真课时	实践课时	总 计	备 注
第一章	数控原理概述	4		4	
第二章	数控车床操作基础	2	4	6	
第三章	数控编程基础	6		6	
第四章	端面与外圆	6	4	10	
第五章	圆锥加工	4	6	10	
第六章	凹圆弧加工	4	6	10	
第七章	凸圆弧加工	4	6	10	
第八章	沟槽加工与切断	4	6	10	
第九章	螺纹加工	4	6	10	
第十章	内孔加工	(4)	(6)	(10)	选学
第十一章	精度控制	6	4	10	
第十二章	子程序与循环加工	8	12	20	
第十三章	典型零件加工	8	14	22	
第十四章	简单非圆曲线加工	(8)	(6)	(14)	选学
第十五章	CAXA 数控车 XP	(8)		(8)	选学
	合 计	60	68	128	

本教材由吴晓东、孙智俊任主编,王华、樊国朝、黄云林任副主编。本教材由合肥工业大学工业培训中心宋树恢老师主审。另外,刘祥、史广向、张顺等老师也参与了本教材部分章节的编写工作。

由于水平所限,书中错误在所难免,望广大读者予以谅解,并批评指正。

编 者

2007 年 7 月



目 录

绪 论.....	(1)
第一章 数控原理概述.....	(5)
第一节 机床数字控制的基本原理.....	(5)
第二节 数控机床插补原理.....	(9)
第二章 数控车床操作基础	(19)
第一节 FANUC 0i 数控系统	(19)
第二节 SIEMENS 数控系统	(26)
第三章 数控编程基础	(33)
第一节 数控编程概述	(33)
第二节 数控坐标系与编程	(36)
第四章 端面与外圆加工	(41)
第五章 圆锥加工	(47)
第六章 凹圆弧加工	(52)
第七章 凸圆弧加工	(59)
第八章 沟槽加工与切断	(72)
第九章 螺纹加工	(76)
第十章 内孔加工	(82)
第十一章 精度控制	(88)
第一节 恒线速控制	(88)
第二节 刀具补偿功能相关知识	(91)



第十二章 子程序与循环加工	(94)
第一节 子程序	(94)
第二节 循环程序应用	(97)
第十三章 典型零件加工	(107)
第十四章 非圆曲线的加工	(134)
第十五章 CAXA 数控车 XP	(141)
第一节 CAXA 数控车 XP 简介	(141)
第二节 CAXA 数控车 XP 编程实例	(145)
附录 1 数控车工(中级)技能鉴定考核大纲	(152)
附录 2 切削加工中参数选择	(158)
附录 3 几种数控系统指令格式	(161)
附录 4 数控机床的常用术语	(174)
参考文献	(179)



绪 论

机床是人类进行生产劳动的重要工具,也是社会生产力发展水平的重要标志,普通机床已经有近两百年的历史。随着电子技术、计算机技术及自动化、精密测量等技术的发展与综合应用,产生了机电一体化的新型机床——数控机床。

数控机床及数控技术的应用,成功地解决了某些形状复杂、一致性要求较高的中小批量零件加工自动化问题,它不仅大大提高了生产效率和加工精度,还减轻了工人的劳动强度,缩短了生产准备周期,并推动了航空、航天、船舶、国防、机电等工业的发展。目前,数控技术已普遍推广,数控机床已在工业各部门得到了广泛的应用,并已经成为机床自动化的一个重要发展方向。

一个国家的机床数控化率,反映了这个国家机床工业和机械制造业水平的高低,同时也是衡量一个国家科技进步的重要标志之一。它对于实现生产过程的自动化,促进科技进步和加速现代化建设,都有十分重大意义。

一、数控机床的产生与发展

随着科学技术的发展,机械产品日趋精密和复杂化,更新换代越来越频繁,个性化的需求使得生产类型由大批、大量向多品种、小批量生产转换。相应地,对机械产品加工的精度、效率、柔性及自动化等提出了越来越高的要求。

机械行业传统典型的加工方式主要有三种:

(1) 采用普通通用机床的单件小批量生产。

由技术工人手工操作控制机床,工艺参数基本由操作工人确定,生产效率低、产品质量不稳定,特别是一些复杂的零件加工,需依赖靠模或借助划线和样板等用手工操作的方法进行加工,加工效率和精度受到很大限制。

(2) 采用通用的机械自动化机床(如凸轮自动车床)的大批量生产。

以专用凸轮、靠模等实体零件作为加工工艺、控制信息的载体控制机床的自动运行。产品更新需设计更换或调整相应地信息载体零件,需要较长的准备周期,因此仅适用于标准件类大批量简单零件的加工。

(3) 采用组合专用机床及其自动线的大批量生产。

一般以系列化的通用部件和专用化夹具、多轴箱体等组成主机本体,采用 PLC 实现自动或半自动控制。其加工工艺内容及参数在设备设计时就严格规定,使用中一般很难也很少更改。这种自动化高效设备需要较大的初期投资和较长的生产准备周期,只有在大批量生产条件下才会产生显著的经济效益。

显然,上述三种加工方式对于当前机械制造业中占机械加工总量的 70% ~ 80% 的单件小批量生产的零件很难适应。

为了解决上述问题,满足多品种、小批量、复杂、高精度零件的自动化生产,迫切需要一种通用、灵活、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。

以计算机技术为依托,1952 年美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(MIT)合作,



研制成功了世界上第一台以数字计算机为基础的数字控制三坐标直线插补铣床,从而使得机械制造业进入了一个崭新时代。

第一台数控机床问世以来,随着微电子技术、自动控制技术和精密测量技术的发展,数控技术也得到了迅速发展。先后经历了电子管(1952年)、晶体管(1959年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路及小型计算机(1970年)和微处理机或微型计算机(1974年)等五代数控系统。

前三代数控系统属于专用控制计算机的硬接线(硬件)系统,一般称为 NC(numerical control) 数控。20 世纪 70 年代初期,计算机技术的迅速发展使得小型计算机的价格急剧下降,从而出现了以小型计算机代替专用硬件控制计算机的第四代数控系统。这种系统不仅具有更好的经济性,而且许多功能可用编制的专用程序实现,并可将专用程序储存在小型计算机的存储器中,构成控制软件。这种数控系统称为 CNC(computerized numerical control),即计算机控制系统。70 年代中期,以微处理机为核心的数控系统 MNC(micro computerized numerical control)得到了迅速发展。CNC 与 MNC 称为软接线(软件)数控系统。目前,NC 数控系统早已经淘汰,现代数控均采用 MNC 数控系统,目前通常将现代数控系统称为 CNC。

我国很早就开始对数控机床进行研制。1958 年,由北京机床研究所和清华大学等单位,率先研制了电子管式开环伺服驱动的数控机床。由于历史原因,迟迟未能在实用阶段上有所突破。70 年代初期,我国研制的数控装置主要采用晶体管分立元器件,性能不稳定,可靠性差,只有少量的数控机床(如专用数控铣床及非圆齿轮插齿机等)用于生产。1972 年,集成数字电路的数控系统在清华大学研制成功,数控技术开始在车、钻、铣、镗、磨等加工领域得以推广。

从 1980 年开始,随着我国改革开放政策的实施,国内一些企业从日本、美国、前西德等国家引进较先进的数控(制造)技术,并用于生产。

与此同时,我国的许多企业和科研机构也开始进行经济型数控系统的研制工作,在引进、消化和吸收国外先进数控技术的基础上,开发和生产出了拥有自主知识产权的数控软件、硬件。现在国内常用的国产数控系统有广州数控、华中数控等。

二、数控机床的概念

数控即数字控制(Numerical Control,缩写为 NC),是数字程序控制的简称。

数控机床是一种通过数字信息控制机床按给定的运动规律,进行自动加工的机电一体化新型加工设备。

机床数控技术是通过数控机床加工技术而实现的,应用数控技术的光键在于学好和用好数控机床。

三、数控机床的特点

(1) 提高零件的加工精度,稳定产品质量。由于数控机床在加工过程中自动加工,消除了人为的操作误差,因此,零件的一致性较好。

(2) 可进行复杂曲面的零件加工。

(3) 提高生产效率 2 ~ 3 倍,复杂零件可提高几十倍。

(4) 可以实现一机多用,如数控加工中心(钻、镗、铣合一的机床)的应用。

(5) 有利于向使用计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造条件。

四、数控车床分类

按数控系统水平可分为:经济型数控车床、全功能型数控车床、车削中心、FMC(柔性加工单元)车床。



按车床主轴配置可分为:卧式数控车床、立式数控车床。

按数控系统控制轴数可分为:两轴控制数控车床、多轴控制数控车床。

五、数控车床发展趋势

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统,到现在已走过了五十多年历程。数控系统由当初的电子管式起步,经历了分立式晶体管式——小规模集成电路式——大规模集成电路式——小型计算机式——超大规模集成电路——微机式的数控系统的几个发展阶段。

当前数控车床呈现以下发展趋势:

1. 高速、高精密化

高速、精密是机床发展永恒的目标。随着科学技术突飞猛进地发展,机电产品更新换代速度加快,对零件加工的精度和表面质量的要求也愈来愈高。为满足这个复杂多变市场的需求,当前机床正向高速切削、干切削和准干切削方向发展,加工精度也在不断地提高。另一方面,电主轴和直线电机的成功应用,陶瓷滚珠轴承、高精度大行程空心内冷和滚珠螺母强冷的恒温高速滚珠丝杠副及带滚珠保持器的直线导轨副等机床功能部件的面市,也为机床向高速、精密发展创造了条件。

数控车床采用电主轴,取消了皮带、带轮和齿轮等环节,大大减少了主传动的转动惯量,提高了主轴动态响应速度和工作精度,彻底解决了主轴高速运转时皮带和带轮等传动的振动和噪声问题。采用电主轴结构可使主轴转速达到 10000r/min 以上。

直线电机驱动速度高,加减速特性好,有优越的响应特性和跟随精度。用直线电机作伺服驱动,省去了滚珠丝杠这一中间传动环节,消除了传动间隙(包括反向间隙),运动惯量小,系统刚性好,在高速下能精密定位,从而极大地提高了伺服精度。

直线滚动导轨副,由于其具有各向间隙为零和非常小的滚动摩擦,磨损小,发热可忽略不计,有非常好的热稳定性,提高了全程的定位精度和重复定位精度。

通过直线电机和直线滚动导轨副的应用,可使机床的快速移动速度由目前的 10m/min ~ 20m/min 提高到 60m/min ~ 80m/min,甚至高达 120m/min。

2. 高可靠性

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度和高效率,并获得良好的效益,关键取决于其可靠性的 高低。

3. 数控车床设计 CAD 化、结构设计模块化

随着计算机应用的普及及软件技术的发展,CAD 技术得到了 广泛发展。CAD 不仅可以替代人工完成繁琐的绘图工作,更重要的是可以进行设计方案选择和大件整机的静态与动态特性分析、计算、预测及优化设计,可以对整机各工作部件进行动态模拟仿真。在模块化的基础上,在设计阶段就可以看出产品的三维几何模型和逼真的色彩。采用 CAD,还可以大大提高工作效率,提高设计的一次成功率,从而缩短试制周期,降低设计成本,提高市场竞争能力。通过对机床部件进行模块化设计,不仅能减少重复性劳动,而且可以快速响应市场,缩短产品开发设计周期。

4. 功能复合化

功能复合化的目的是进一步提高机床的生产效率,使用于非加工的辅助时间减至最少。通过功能的复合化,可以扩大机床的使用范围、提高效率,实现一机多用、一机多能,即一台数控车床既可以实现车削功能,也可以实现铣削加工,或在以铣为主的机床上也可以实现磨削加工。



5. 智能化、网络化、柔性化和集成化

21 世纪的数控装备将是具有一定智能化的系统。智能化的内容表现在数控系统中的各个方面:为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程的自适应控制,工艺参数自动生成;为提高驱动性能及使用连接方面的智能化,如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控等方面的功能,以方便系统的诊断及维修等。

网络化数控装备是近年来机床发展的一个热点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求,是实现新的制造模式,如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。

数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是:从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(FMC、FMS、FTL、FML)向面(工段车间独立制造岛、FA)、体(CIMS、分布式网络集成制造系统)的方向发展,另一方面向注重应用性和经济性方向发展。柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。其重点是以提高系统的可靠性、实用化为前提,以易于联网和集成为目标,注重加强单元技术的开拓和完善。CNC 单机向高精度、高速度和高柔性方向发展。数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与 CAD、CAM、CAPP 及 MTS 等联结,向信息集成方向发展。网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

六、学习数控车床操作注意事项

- (1) 未经老师许可,学生不得私自开动机床以及私自卸拆卸工、夹、刀具。
- (2) 开机前必须检查是否回零,刀具补偿是否取消。
- (3) 加工前,所编程序须经指导教师审核修正,加工过程中必须关闭防护门。禁止两人以上同时操作同一台机床。
- (4) 不准在开车状态装卸卡盘,装卸和测量工件时,扳手要立即取下。装卸卡盘和较大的工、夹具和零件时,床面应垫木板。
- (5) 工作时,夹持工件不得使用硬物敲打,工作面不得乱放杂物。妥善保管设备附件和工具、夹具、量具。
- (6) 加工细长工件时要用顶尖、跟刀架或中心架,车头前部伸出量不可超过工件直径 20 ~ 50 倍,车尾伸出量小于 150mm 时应扎布条告警,大于 150mm 时应用托架。
- (7) 紧固车刀时不得少于两个螺钉,刀头伸出长度不可超过刀杆厚度的 1.5 倍。
- (8) 高速车削和加工韧性材料时,应采用断屑切削。
- (9) 工作后保持机床清洁,整理好工具、夹具和量具。
- (10) 工作结束时,应关闭机床总电源,特别是在突然停电后,应随手关闭机床总电源。

思考与练习

1. 数控机床加工与传统机械加工有何分别?
2. 简述数控机床加工特点。
3. 简述数控车床发展趋势。
4. 简述数控车床操作注意事项。



第一章 数控原理概述

第一节 机床数字控制的基本原理

一、数字控制的基本概念

数字控制(Numerical Control—NC)简称数控,是一种自动控制技术,是用数字化信号对控制对象加以控制的一种方法。数字控制是相对于模拟控制而言的,数字控制系统中的控制信息是数字量,而模拟控制系统中的控制信息是模拟量。数字控制与模拟控制相比有许多优点,如可用不同的字长表示不同精度的信息,可对数字化信息进行逻辑运算、数学运算等复杂的信息处理工作等,特别是可用软件来改变信息处理的方式或过程,而不用改动电路或机械机构,从而使机械设备具有很大的“柔性”。因此数字控制已被广泛用于机械运动的轨迹控制和机械系统的开关量控制,如机床的控制、机器人的控制等。

数字控制的对象是多种多样的,但数控机床是最早应用数控技术的控制对象,也是最典型的数控化设备。数控机床是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing—IFIP)第五技术委员会对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装了程序控制系统的机床,该系统能逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

定义中所提的程序控制系统,就是数控系统(Numerical Control System)。数控系统是一种控制系统。它自动输入载体上事先给定的数字量并将其译码,再经过必要的信息处理和运算后,控制机床动作和加工零件。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的专用硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控系统(Computer Numerical Control System)简称CNC。CNC系统是由计算机承担数字控制中的命令发生器和控制器的数控系统。由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程,从而具有真正的“柔性”,并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

二、数控机床的组成

数控机床是典型的数控化设备。它一般由信息载体、计算机数控装置、伺服系统和机床四部分组成,如图1-1所示。

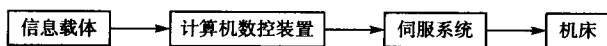


图1-1 数控机床的组成

1. 信息载体

信息载体又称控制介质,用以记录数控机床上加工一个零件所必需的各种信息,如零件加工的位置数据、工艺参数等,以控制机床的运动,实现零件的机械加工。早期的数控机床(系统)常用的信息载体有穿孔带、磁带等,现代数控机床(系统)常用的信息载体有磁盘或



半导体存储器等。信息载体通过相应的输入装置将信息输入到数控系统中。数控机床既可采用信息载体输入,也可采用操作面板上的按钮和键盘将加工信息直接输入,或通过串行口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。高级的数控系统还包含一套自动编程机或者CAD/CAM系统,由这些设备实现编制程序、输入程序、输入数据以及显示、模拟显示、存储和打印等功能。

2. 计算机数控装置

计算机数控装置是数控机床的核心。它的功能是接受载体送来的加工信息,经计算和处理后去控制机床的动作。它由硬件和软件组成。硬件除计算机外,其外围设备主要包括光电阅读机、CRT、键盘、面板、机床接口等。光电阅读机输入系统程序和零件加工程序;CRT供显示和监控用;键盘用于输入操作命令及编辑、修改程序段,也可输入零件加工程序;操作面板可供操作人员改变操作方式、输入预定数据、起停加工等;机床接口是计算机和机床之间联系的桥梁,机床接口包括伺服驱动接口及机床输入/输出接口。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分,包括驱动机构和机床移动部件,用于接受数控装置发来的各种动作命令,驱动受控设备运动。伺服电动机可以是步进电动机、电液马达、直流伺服电动机或交流伺服电动机。

4. 机床

机床是用于完成各种切削加工的机械部分,是在普通机床的基础上经过很多改进和提高发展而来的。它的主要特点是:

(1) 由于大多数数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,因此数控机床的机械传动结构得到了简化,传动链较短。

(2) 为了适应数控机床连续的自动化加工,数控机床机械结构具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形较小。

(3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

(4) 不少数控机床还采用了刀库和自动换刀装置以提高机床工作效率。

三、数控机床的工作过程

数控机床的工作过程包括以下几个方面:

(1) 输入:给数控系统输入的有零件加工程序、控制参数和补偿数据等。

(2) 译码:输入的程序段含有零件的轮廓信息(起点、终点、直线或圆弧等)、要求的加工速度以及其他的辅助信息(换刀、换档、切削液开关等),计算机依靠译码程序来识别这些代码,将加工程序翻译成计算机内部能识别的语言。

(3) 数据处理:数据处理程序一般包括刀具半径补偿、速度计算和辅助功能的处理。刀具半径补偿是把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹。速度计算是解决该加工数据段以什么样的速度运动的问题。加工速度的确定是一个工艺问题。数控系统仅仅是保证这个编程速度的可靠实现。另外,辅助功能如换刀、换档等亦在这个程序中实现。

(4) 插补:计算轨迹的过程称为插补,即根据给定的曲线类型(如直线、圆弧或高次曲线)、起点、终点以及速度,在起点和终点之间进行数据点的密化。

计算机数控系统的插补功能主要由软件来实现。目前主要有两类插补方法:一是基准脉冲插补,它的特点是每次插补运算结束产生一个进给脉冲;二是数据采样插补,它的特点是



插补运算在每个插补周期进行一次,根据指令进给速度计算出一个微小的直线数据段。

(5) 伺服控制:将计算机送出的位置进给脉冲或进给速度指令,经变换和放大后转化为伺服电动机(步进电动机或交、直流伺服电动机)的转动,从而带动机床工作台移动。

(6) 管理程序:当一个数据段开始插补时管理程序即着手准备下一个数据段的读入、译码、数据处理,即由它调用各个功能子程序且保证一个数据段加工过程中将下一个数据段准备就绪,一旦本数据段加工完成即开始下一个数据段的插补加工。整个零件加工就是在这种周而复始的过程中完成。

用数控机床进行工件加工,首先必须将被加工零件的几何信息和工艺信息数字化,按规定的代码和格式编制数控加工程序,然后用适当的方式将此加工程序输入数控系统。数控系统根据输入的加工程序进行信息处理,计算出理想轨迹和运动速度,最后将处理的结果输出到机床的执行部件,控制机床运动部件按预定的轨迹和速度运动。

数控机床的加工过程如图 1-2 所示,其中信息输入、信息处理和伺服执行是数控系统的三个基本工作过程。数控机床必须具备信息输入、信息处理、伺服执行以及机床本体四个基本组成部分。

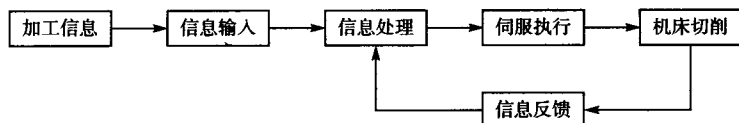


图 1-2 数控机床加工过程

加工一个零件所需的数据及操作命令构成零件的加工程序。加工程序可以用符号或数字形式记录在输入介质(有形的信息载体)上输入数控系统,也可以通过键盘或通信接口输入数控系统。输入介质(有形的信息载体)一般是穿孔纸带、磁带、磁盘等。输入介质上的数据以程序段形式编排,每一程序段都包含有加工零件某一部分所需的全部信息,包括加工段长度、形状、切削速度、进给速度以及进给量等。零件程序编程时所需的尺寸信息(长度、宽度或圆弧半径等)和外形信息(圆弧、直线或其他)取自零件图,尺寸按每一个运动轴,如 X 轴、Z 轴等,分别给出。切削速度、进给速度及切削液通断,主轴回转方向、齿轮变速等其他辅助功能均可编程输入。这样在加工过程中每执行一个程序段,刀具便完成一部分切削。

信息处理是数控装置的核心任务,由计算机来完成。它的作用是识别输入介质中每个程序段的加工数据和操作命令,并对其进行换算和插补计算;根据程序信息计算出运动轨迹上的许多中间点的坐标,这些中间点坐标以前一中间点到后一中间点的位移量形式输出,经接口电路向各坐标轴执行部件送出控制信号,控制机床按规定的速度和方向移动,以完成零件的成形加工。

伺服执行部分的作用是将插补输出的位移信息转换成机床的进给运动。数控系统要求伺服执行部件准确、快速地跟随插补输出信息执行机械运动,这样数控机床才能加工出高精度的工件。数控机床常用的伺服驱动元件有功率步进电动机、宽调速直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

从上面可以看出,与传统的机床加工相比,数控系统取代了操作人员的手工操作。传统的机床加工中,操作者通过操纵手轮使切削刀具沿着工件移动进行零件加工,加工精度完全由操作者的技术和经验决定,加工精度较低。对于外形简单且精度要求较低的零件可用手工



操作方式完成,但若是二维轮廓或三维轮廓加工,手工操作的普通机床就无能为力了。采用数控机床后原来由操作者手工完成的工作都包含在零件的加工程序中,操作者通过编制简单的程序,监视机床工作以及更换零件即可实现工件的自动加工。与传统机床相比,数控机床有以下优点:

- (1) 具有充分的“柔性”,只需编制零件程序就能加工零件。
- (2) 在切削速度和进给行程的全范围内均可保持精度且一致性好。
- (3) 生产周期较短。
- (4) 可以加工复杂形状的零件。
- (5) 机床易于调整,与其他制造方法(如自动机床、自动生产线)相比,调整所需的时间较少。

但数控机床也存在以下缺点:

- (1) 造价相对较高,特别是设备初期投资大。
- (2) 维护比较复杂,需要专门的维护人员。
- (3) 需要高度熟练和经过培训的零件编程人员。

四、数控系统中的辅助功能及实现

用户输入的加工程序代码必须经过译码、刀具补偿、速度处理和辅助功能处理等一系列的数据处理过程,才能得出插补所需的数据。在控制机床运动的过程中,还需对传动系统的间隙和丝杠的螺距误差进行补偿,才能最终控制机床加工出合格的零件。

除轨迹控制外,在加工过程中还需执行一些辅助控制,如主轴的停、开、正转、反转,主轴的转速控制,切削液的开、关、换刀控制等。这些辅助功能有的在一个程序段的插补运动开始之前执行,有的在插补之后执行。主轴的转速控制一般由专门的主轴系统来控制,数控系统只需输出一个转速给定量。这个给定量可以是模拟量,也可以是数字量,视主轴系统而定。其他的辅助功能主要是开关量控制。在简单的系统中,这些开关量的控制逻辑较简单,处理时间短,因而由数控系统的微机或继电器逻辑电路来执行。在较复杂的系统中,这些辅助功能的控制较复杂,需要大量的时间来处理,有的功能还需要与轨迹控制同时执行,因此复杂系统的开关量控制通常由一个内置式可编程控制器(PLC)来执行。如加工中心、柔性制造单元等,由于刀库、工作台控制较为复杂,所以一般都由专门的一个可编程控制器来进行控制。

五、数控机床加工零件的操作过程

数控机床加工零件的操作过程为:

- (1) 数控程序的编制:先根据零件图样的要求设计数控加工工艺过程,如工步、加工路线、切削用量、行程等,再按编程手册的有关规定编制数控加工程序单。
- (2) 控制介质的制作和程序的输入:由加工程序单制作控制介质,如穿孔带、磁带、磁盘等,再将控制介质记录的加工信息通过输入装置输入到数控系统中。
- (3) 加工信息的处理与计算和控制指令的发出:当加工程序输入到数控系统后,在控制系统内部的系统程序支持下,系统程序对加工程序进行必要的处理与计算后,发出相应的控制指令。
- (4) 控制指令的执行:运动部件按控制指令进行运动,从而实现零件的数控加工。