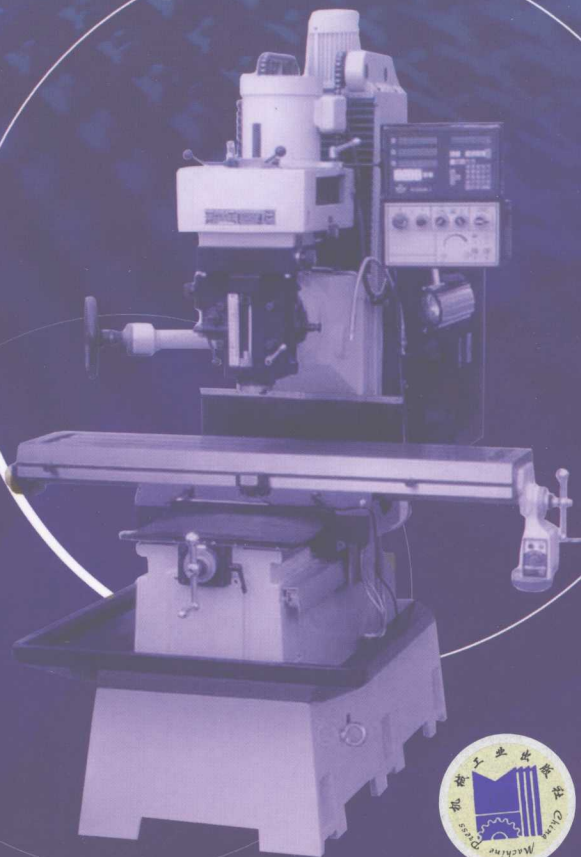
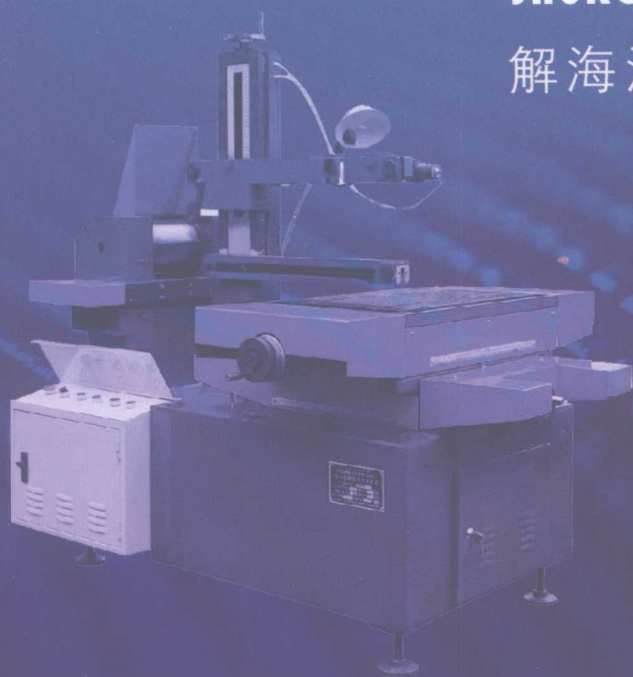


教育部职业教育院校重点专业规划教材
数控技术应用专业项目化教学教改教材

数控加工技术实训

SHUKONG JIANGONG JISHU SHIXUN

解海滨 ● 主编



教育部职业教育院校重点专业规划教材
数控技术应用专业项目化教学教改教材

数控加工技术实训

主 编 解海滨
副主编 崔向群 马雪方
参 编 吴胜强 蒲筠果 丁广文 计小辈
李 明 马 辉 葛文智
主 审 俞圣梅



机械工业出版社

本书包括基础篇、工艺准备篇、编程篇、操作加工篇 4 部分内容, 共分为 10 个单元, 有 45 个训练项目。其中, 基础篇介绍了数控加工技术方面的基础知识; 工艺准备篇介绍了数控加工工艺分析、数控加工刀具及选用、工件的定位与装夹以及常用检测工具等基本知识; 编程篇介绍了数控加工手工编程 (FANUC 0i、SINUMERIK 802D 系统) 和数控加工自动编程 (Master CAM); 操作加工篇介绍了数控车床、加工中心和数控电火花成形机、电火花线切割等机床的操作加工。全书结合劳动和社会保障部职业资格标准的要求, 由具有多年教学实践经验的教师编写而成。教材中理论知识以够用为度, 重点突出了能力的培养, 所列举的实训项目内容深入浅出, 便于教学, 符合职业教育的要求。

本书可作为高职院校及重点中职学校数控技术、模具设计与制造、机械制造及自动化等专业的实践教学教材, 同时还可为相关技术人员提供参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工技术实训/解海滨主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 1

教育部职业教育院校重点专业规划教材. 数控技术应用专业项目化教学
教改教材

ISBN 978-7-111-22700-7

I. 数… II. 解… III. 数控机床—加工—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 168430 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 汪光灿 责任校对: 李秋荣

封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (国英印务有限公司装订)

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.75 印张 · 432 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-22700-7

定价: 27.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

数控技术是现代制造技术中的关键技术，是装备国民经济支柱产业的重要手段，随着我国工业现代化进程逐步加快，数控机床在制造业中得到越来越广泛的应用，需要大量的掌握数控编程和操作加工技能的人才。然而，目前我国数控加工方面的人才严重缺乏，特别是具备综合基础知识、能解决数控加工实际问题的人员更为缺乏，数控加工技术方面的人才培养已迫在眉睫。为了适应国家技能紧缺型人才培养的需要，按照数控加工职业岗位能力要求，借鉴国家职业资格标准，结合笔者多年专业教学和工程实践方面的经验编写了本书。

教材从职业岗位能力要求出发，结合典型的加工实例，详细地介绍了数控机床操作加工、手工编程和自动编程、数控加工工艺分析等核心内容。在内容上，选用了工业企业常见的 FANUC（发那科）、SIEMENS（西门子）系统作为典型数控系统进行剖析，以 Master CAM 软件对自动编程作介绍；在结构上，突出了职业技能培训的特点，各篇、单元自成一体，每个单元都编写了技能训练项目，便于读者训练和借鉴。

教材中精选的典型实例，大多来自企业实际加工零件，除了可以用于高职院校数控技术等专业进行实践教学外，还适用于数控机床编程与操作方面的培训，也可作为相关工程技术人员的参考书籍。

本书由解海滨担任主编，崔向群、马雪方担任副主编，北京机床研究所俞圣梅高级工程师主审。单元 3 由解海滨编写，单元 2 由崔向群编写，单元 5 由崔向群、葛文智编写，单元 1、单元 4 由马雪方编写，单元 6 由吴胜强编写，单元 7、单元 10 由蒲筠果编写，单元 8 由丁广文、计小辈编写，单元 9 由李明、马辉编写。在教材编写过程中，中钢集团邢台机械轧辊有限公司首席技师张太和提出了许多宝贵的意见和建议，张荣英、陈海燕、赵玉清、王学东等做了大量实际工作，此外，还得到了河北省模具工业协会、长城汽车股份有限公司、中国电子科技集团第 45 研究所、中信戴卡轮毂股份有限公司、沛鑫史宾纳数控机床（南京）有限公司的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评赐教。

编 者

2007. 8. 30

目 录

前言

基 础 篇

单元 1 数控加工技术基础	1	四、数控机床的工作原理及组成	5
一、实训目的与要求	1	五、数控加工的基本术语	7
二、数控加工的基本知识	1	六、实训内容	8
三、数控机床的分类	4		

工艺准备篇

单元 2 数控加工工艺分析	9	单元 4 工件的定位与装夹	37
一、实训目的与要求	9	一、实训目的与要求	37
二、数控加工工艺分析方法	9	二、机床夹具的基本概念	37
三、数控加工工艺规程的制订	11	三、常用定位元件	39
四、典型零件数控加工工艺分析实 例	17	四、工件的夹紧	41
五、实训内容	20	五、常用夹具	43
单元 3 数控加工刀具及其选用	22	六、实训内容	50
一、实训目的与要求	22	单元 5 常用检测工具简介	52
二、刀具种类及用途	22	一、实训目的与要求	52
三、数控车床常用刀具	28	二、常用量具	52
四、加工中心常用刀具	29	三、常用量仪	58
五、实训内容	32	四、数控三坐标测量机	65
		五、实训内容	70

编 程 篇

单元 6 数控加工程序的编制	79	七、实训内容	111
一、实训目的与要求	79	单元 7 数控自动编程	118
二、数控编程坐标系	79	一、实训目的与要求	118
三、数控编程程序格式	80	二、Master CAM 功能说明	118
四、程序编制中的数值计算	81	三、几何造型及实例应用	119
五、数控车床编程要点	83	四、刀具轨迹生成与后置处理	126
六、数控加工中心编程要点	93	五、实训内容	144

操作加工篇

单元 8 数控车床操作加工	155	三、基本操作	157
一、实训目的与要求	155	四、加工操作流程	168
二、日常维护保养	155	五、加工实例	170

六、实训内容	178	三、数控电火花的基本操作	235
单元 9 加工中心操作加工	189	四、数控线切割的加工工艺	239
一、实训目的与要求	189	五、数控线切割的基本操作	241
二、日常维护保养	189	六、实训内容	251
三、基本操作	190	附录	257
四、加工操作流程	202	附录 A 加工中心操作工国家职业标	
五、加工实例	204	准	257
六、实训内容	219	附录 B 数控车床操作工国家职业标准	260
单元 10 数控电火花、线切割机床操		附录 C 数控铣床操作工国家职业标准	264
作加工	231	附录 D 电切削操作工国家职业标准	267
一、实训目的与要求	231	附录 E 常用数控名词中英文对照	269
二、数控电火花加工工艺	231	参考文献	276

基础篇

单元1 数控加工技术基础

一、实训目的与要求

1. 实训目的

通过对数控加工技术基础知识的学习和训练，了解和掌握数控机床的加工原理、基本组成部分和机械结构，为数控加工技术实训打下基础。

2. 实训要求

了解数控加工技术的基本知识：数控加工的基本概念，数控机床的产生与发展，数控机床的机械结构的特点，数控机床的分类等；理解并掌握数控机床的工作原理及组成，掌握数控加工的基本术语；完成数控机床认识实训的内容。

二、数控加工的基本知识

1. 数控加工的基本概念

由于数字技术（Digital Technology）及控制技术的发展，数控机床应运而生。所谓数控机床，是指采用数字程序进行控制的机床。由于采用数控技术，在机床行业，许多在普通机床上无法完成的工艺内容得以实现。

NC 是 Numerical Control（数控）的简称，早期的数控系统全靠数字电路实现，因此电路复杂，功能扩展困难，现代数控系统都已采用小型计算机或微型计算机来进行控制，大量采用集成电路，使得功能大大增强，称之为计算机数控系统（Computer Numerical Control，简称 CNC）。所以，NC 已经成为一种通常的叫法，既指数控机床，也指数控机床的数字控制装置。

2. 数控机床的产生和发展

随着科学技术的迅速发展，社会对产品多样化的要求愈来愈强烈，从而要求产品更新换代的周期越来越短，使多品种、小批量生产的比重明显增加；同时，随着航空航天、造船、军工、汽车、农业机械等行业对产品性能要求的不断提高，产品中形状复杂的零件越来越多，加工质量要求也不断提高。采用传统的普通加工设备已难以适应这种多样化、柔性化及复杂形状零件的高效率高质量加工的要求。为解决上述问题，一种高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床就应运而生了。

数控机床的研究起源于飞机制造业。1947 年，美国帕森斯公司为了精确地制造直升机的机翼、桨叶和飞机框架，提出了用电子计算机控制机床来加工形状复杂零件的设想。1949 年，美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件，与帕森斯公司和麻省理工

学院伺服机构研究所合作,开始了三坐标铣床的数控化工作,于1952年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标数控铣床。经过三年的试用和改进,于1955年进入实用化阶段。此后,德国、英国、日本和前苏联等国也开始了数控机床的研制开发工作。1959年,美国Keaney & Treckre公司开发出了具有刀具库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个面进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、铣削等多种加工,不仅提高了生产率,而且使加工精度大大提高。这类带有刀具库和自动换刀装置的数控机床称为加工中心,它已成为当今数控机床发展的主流。

机床的数控系统的发展经历了两大阶段。

从1952年到1970年为第一阶段。这一阶段由于计算机的运算速度低,这对当时的科学计算和数据处理影响不大,但还不能适应机床实时控制的要求,这一阶段人们只能采用数字逻辑电路制成专用计算机以作为机床数控系统,简称为数控(NC)。

从1970年到现在为第二阶段。1970年以后,通用小型计算机已能批量生产,它的运算速度和可靠性比早期的专用计算机大大提高,且成本大幅度下降,于是将小型计算机移植过来作为机床数控系统的核心部件,从此进入了计算机数控(CNC)阶段。到1974年,美国的Intel公司将计算机核心部件运算器和控制器采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上而制成微处理器(CPU)。微处理器运用于机床数控系统上才真正解决了之前的数控机床的可靠性低、价格高和应用不便等关键性问题,使数控机床进入实用阶段。1990年以来,PC机的性能已经发展到很高的阶段,可满足作为机床数控系统核心部件的要求,而且PC机的生产批量大、价格低、可靠性高。从此,数控机床进入了广泛应用的PC阶段。

3. 数控机床的机械结构

数控机床是机电一体化产品的典型代表,尽管它的机械结构与普通机床的结构有许多相似之处,但并不是简单地在普通机床上配备数控系统即可,它与普通机床相比,结构上进行了改进,主要表现在以下几个方面:

1) 主传动装置多采用无级变速或分段无级变速方式,可利用程序控制主轴的变向和变速,主传动具有较宽的调速范围。有些数控机床的主传动系统已开始采用结构紧凑、性能优异的电主轴。

2) 进给传动装置中广泛采用无间隙滚珠丝杠传动和无间隙齿轮传动,利用贴塑导轨或静压导轨来减少运动副的摩擦力,提高传动精度。有些数控机床的进给部件直接使用直线电动机驱动,从而实现了高速、高灵敏度伺服驱动。

3) 床身、立柱、横梁等主要支承件采用合理的截面形状,且采取一些补偿变形的措施,使其具有较高的结构刚度。

4) 加工中心备有刀库和自动换刀装置,可进行多工序、多面加工,大大提高了生产率。

(1) 数控机床的支承件 支承件是机床的基础部件,包括床身、立柱、横梁、底座、工作台、箱体、升降台等。它们之间有的互相固定连接,有的在导轨上运动。支承件在加工过程中受各种力和热的作用会产生变形,从而改变执行机构的正确位置或运动轨迹,影响加工精度和表面质量。因此,必须采取一定的措施提高支承件抵抗受力变形和受热变形的能力。

(2) 数控机床的主传动系统 1) 主传动及变速。与普通机床相比,数控机床的工艺范围更宽,工艺能力更强,因此

要求其主传动具有较宽的调速范围,以保证在加工时能选用合理的切削用量,从而获得最佳的加工质量和生产率。现代数控机床的主运动广泛采用无级变速传动,用交流调速电动机或直流调速电动机驱动,能方便地实现无级变速,且传动链短,传动件少。根据数控机床的类型与大小,其主传动主要有三种形式:带有变速齿轮的主传动、由主轴电动机直接驱动的主传动、电主轴等。

(2) 主轴部件。主轴部件是机床的重要部件之一,其精度、抗振性和热变形对加工质量有直接影响,特别是数控机床在加工过程中不进行人工调整,这些影响就更为严重。数控机床主轴部件在结构上要解决好主轴的支承、主轴内刀具自动装夹、主轴的定向停止等问题。

(3) 数控机床的进给系统。数控机床的进给包括直线运动部件的进给和旋转运动部件的进给,不论是直线进给系统还是旋转进给系统,目前仍以“伺服电动机+机械传动链”为主导,但是这种传统的进给系统存在刚度低、传动误差大、传动链结构复杂、传动效率低等问题,已很难满足数控机床向高速加工方向发展的要求,因而近年来国内外在研究开发直接驱动运动部件直线运动的直线电动机和直接驱动运动部件旋转运动的力矩电动机,并已获得应用。

(4) 数控机床导轨。机床导轨的功用是起导向及支承作用,它的精度、刚度及结构

形式等对机床的加工精度和承载能力有直接影响。为了保证数控机床具有较高的加工精度和较大的承载能力,要求其导轨具有较高的导向精度、足够的刚度、良好的耐磨性、良好的低速运动平稳性,同时应尽量使导轨结构简单,便于制造、调整和维护。数控机床常用的导轨按其接触面间摩擦性质的不同可分为滑动导轨和滚动导轨。

2) 滑动导轨。在数控机床上常用的滑动导轨有液体静压导轨、气体静压导轨和贴塑导轨。

① 液体静压导轨:在两导轨工作面间通入具有一定压力的润滑油,形成静压油膜,使导轨工作面间处于纯液态摩擦状态,摩擦因数极低,多用于进给运动导轨。

② 气体静压导轨:在两导轨工作面间通入具有恒定压力的气体,使两导轨面形成均匀分离,以得到高精度的运动。这种导轨摩擦因数小,不易引起发热变形,但会随空气压力波动而使空气膜发生变化,且承载能力小,故常用于负荷不大的场合。

③ 贴塑导轨:在动导轨的摩擦表面上贴上一层由塑料等其他化学材料组成的塑料薄膜软带,其优点是导轨面的摩擦因数低,且动静摩擦因数接近,不易产生爬行现象;塑料的阻尼性能好,具有吸收振动能力,可减小振动和噪声;耐磨性、化学稳定性、可加工性能好;工艺简单,成本低。

3) 滚动导轨。滚动导轨的最大优点是摩擦因数很小,一般为 $0.0025 \sim 0.005$,比贴塑料导轨还小很多,且动、静摩擦因数很接近,因而运动轻便灵活,在很低的运动速度下都不出现爬行,低速运动平稳性好,位移精度和定位精度高。滚动导轨的缺点是抗振性差,结构比较复杂,制造成本较高。近年来数控机床愈来愈多地采用由专业厂家生产的直线滚动导轨副或滚动导轨块。这种导轨组件本身制造精度很高,对机床的安装基面要求不高,安装、调整都非常方便。

(5) 其他装置。目前数控机床正向着工序和功能集中型的加工中心方向发展。加工中心

1) 刀具系统。目前数控机床正向着工序和功能集中型的加工中心方向发展。加工中心

要完成对工件的多工序加工,必须具备自动更换刀具和刀具储备的系统——自动换刀系统。

自动换刀系统的结构形式随加工中心的类型不同而有所不同。

① 回转刀架式。回转刀架是一种最简单的自动换刀系统,多用于数控车床,回转刀架上可安装4、6、8把甚至更多的刀具,由数控系统控制换刀。其特点是结构简单、紧凑,但空间利用率低,刀库容量小。

② 更换主轴头式。在带有旋转刀具的数控机床中,如数控钻床,更换主轴头是一种比较简单的换刀方式,常用转塔的转位来更换主轴头,以实现自动换刀。

③ 刀库-机械手式。目前大量使用的是这种自动换刀系统。加工时,事先把所需要的全部刀具安装在标准刀柄上,按一定方式放入刀库。当需要使用某一刀具时,首先在刀库中选刀,之后自动将刀换到主轴上。加工完毕后,又自动将用过的刀放回刀库,将下一把刀换到主轴上。这种结构形式主轴的刚度高,刀具的存储量大。

2) 排屑装置。对数控机床来说,迅速有效地排出切屑十分重要。排屑装置的作用就是将切屑从加工区域排送到数控机床之外。由于切屑中往往混合着切削液,因而排屑装置要能够将切削液回流到切削液箱内,而将分离出的切屑送入切屑收集箱内。有的数控机床切屑不能直接落入排屑装置,常常需要用大流量切削液将其冲入排屑槽中。

三、数控机床的分类

1. 按数控机床的工艺用途分类

(1) 一般数控机床 与普通机床工艺可行性相似的各种数控机床,其种类与普通机床一样,如数控车床、数控铣床、数控刨床、数控磨床、数控钻床等。

(2) 加工中心 带有刀库和自动换刀装置的数控机床。

(3) 特种数控机床 装备了数控装置的特种加工机床,如数控线切割机床、数控激光加工机床等。

2. 按数控机床的运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床 其数控装置只控制机床移动部件从一个位置(点)移动到另一个位置(点),而不控制点到点之间的运动轨迹,刀具在移动过程中不进行切削加工,如数控钻床、数控冲床等。

(2) 直线控制数控机床 其数控装置除了要控制机床移动部件的起点和终点的准确位置外,还要控制移动部件以适当速度沿平行于某一机床坐标轴方向或与机床坐标轴成 45° 的方向进行直线切削加工,如简易数控车床、简易数控磨床等。

(3) 轮廓控制数控机床 其数控装置能够同时对两个或两个以上坐标轴进行联动控制,从而实现曲线轮廓和曲面的加工,如具有两坐标或两坐标以上联动的数控铣床、数控车床等。

3. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环控制系统 指不带反馈的控制系统,即系统没有位置反馈元件,通常以功率步进电动机或电液伺服电动机作为执行机构。

(2) 半闭环控制系统 半闭环控制系统是在开环系统的丝杠上装有角位移检测装置,通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移,然后反馈给数控装置。

(3) 闭环控制系统 在机床移动部件上直接装有位置检测装置,将测量的结果直接反馈

到数控装置中，与输入的指令位移进行比较，用偏差进行控制，使移动部件按照实际的要求运动，最终实现精确定位。

4. 按控制的坐标轴数分类

(1) 两坐标数控机床 指可以同时控制两个坐标轴联动而能加工曲线轮廓零件的机床，如数控车床。

(2) 三坐标数控机床 指可以联动控制的坐标轴为三轴的数控机床，可以用于加工不太复杂的空间曲面，如三坐标数控铣床。

(3) 两个半坐标数控机床 这类机床本身有三个坐标轴，能作三个方向运动，但控制装置只能同时联动控制两个坐标轴，第三个坐标轴仅能作等距的周期移动，如经济型数控铣床。

(4) 多坐标数控机床 指可以联动控制的坐标轴为四轴和四轴以上的机床，其机床结构复杂，控制精度较高，加工程序复杂，主要用于加工形状复杂的零件，如五坐标数控铣床。

四、数控机床的工作原理及组成

1. 数控机床的组成

数控机床是典型的机电一体化产品，是集现代机械制造技术、自动控制技术、检测技术、计算机信息技术于一体的高效率、高精度、高柔性和高自动化的现代机械加工设备。

现代数控机床一般由数控装置（NC unit）、伺服系统（Servo System）、位置测量与反馈系统（Feedback System）、辅助控制单元（Accessory Control Unit）和机床主机（Main Engine）组成。图 1-1 是各组成部分的逻辑结构简图。

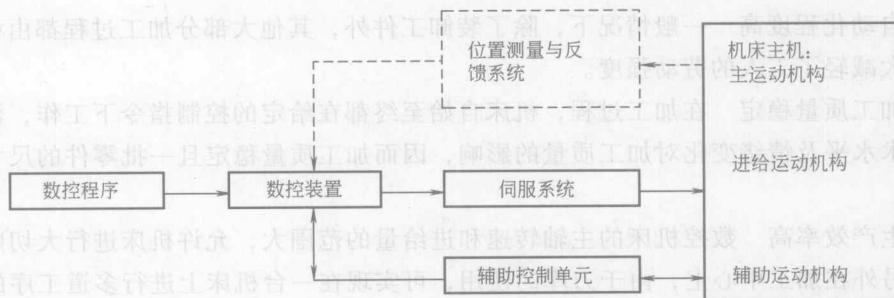


图 1-1 数控机床逻辑结构示意图

数控装置是数控机床的核心，能完成信息的输入、存储、变换、插补运算以及实现各种功能。

伺服系统是接受数控装置的指令，驱动机床执行机构运动的驱动部件。它包括主轴驱动单元（主要是速度控制）、进给驱动单元（主要有速度控制和位置控制）、主轴电动机和进给电动机等。目前，交流伺服系统正在取代直流伺服系统。

位置测量与反馈系统可以包括在伺服系统中。它由检测元件和相应电路组成，其作用是检测速度与位移，并将信息反馈给数控装置，形成闭环控制；但不一定每种数控机床都装备位置测量与反馈系统（图中虚线部分表示该模块不是基本配置），没有测量与反馈系统的数控装置称开环控制系统（如运动简单的中低档数控车床），常用的测量元件有脉冲编码器、

旋转变压器、感应同步器、光栅尺等。

辅助控制单元用以控制机床的各种辅助动作,包括冷却泵的启停等各种辅助操作。

机床主机包括床身、主轴、进给机构等机械部件,由于数控机床采用高性能的主轴及伺服驱动装置,主机较传统机床大大简化。

2. 数控机床的基本工作原理

在普通机床上加工零件,是由操作者根据零件图样的要求,不断改变刀具与工件之间相对运动轨迹,由刀具对工件进行切削而加工出要求的零件。而在数控机床加工零件时,先将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给切削液等)和步骤以及与工件之间的相对位移等都用数字化的代码表示,并按工艺先后顺序组织成“NC 程序”,通过介质(如纸带、软盘、电缆等)或手工将其输入到机床的 NC 存储单元中,NC 装置对输入的程序、机床状态、刀具偏置等信息进行处理和运算,发出各种驱动指令来驱动机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出尺寸和形状都符合预期结果的零件。图 1-2 为数控机床的加工过程。



图 1-2 数控机床的加工过程

3. 数控机床的加工特点

(1) 对零件加工的适应性强 通过改变加工程序可对不同零件进行加工,特别适应于目前多品种、小批量、产品更新快的生产特征。

(2) 自动化程度高 一般情况下,除了装卸工件外,其他大部分加工过程都由机床自动完成,大大减轻了工人的劳动强度。

(3) 加工质量稳定 在加工过程,机床自始至终都在给定的控制指令下工作,消除了操作者的技术水平及情绪变化对加工质量的影响,因而加工质量稳定且一批零件的尺寸一致性好。

(4) 生产效率高 数控机床的主轴转速和进给量的范围大,允许机床进行大切削量的强力切削,另外在加工中心上,由于刀库的使用,可实现在一台机床上进行多道工序的连续加工,大大减少了零件的加工时间和辅助时间,因而生产率高。

(5) 利于生产管理现代化 数控机床使用数字信号与标准代码作为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代集成制造技术的基础。

4. 数控机床的发展趋势

(1) 高速度化 近年来,高速加工机床的发展速度很快,目前主轴转速可达 1×10^5 r/min,进给速度可达 80m/min。

(2) 高精度化 精密级数控机床的加工精度可达 0.0001mm,表面粗糙度值 R_a 达 0.02 μ m。

(3) 高智能化 在现代数控系统中,引进了自适应控制技术,可自动控制和优化加工参数,从而使操作者不需具备专门的技能。

(4) 高柔性化 数控机床在提高单机柔性化的同时,朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展,如柔性加工单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)等。

(5) 高自动化 自20世纪80年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点”的自动化(单台数控机床)发展到“线”的自动化(FMS)和“面”的自动化(柔性制造车间),结合信息管理系统的自动化,逐步形成整个工厂“体”的自动化。

(6) 高可靠性 生产厂家通过不断提高数控系统的硬件质量以及促使系统的硬件、软件实现模块化、标准化和通用化,已大大提高了数控机床使用的可靠性。

五、数控加工的基本术语

数控:数字控制(NC, Numerical Control)的简称,是以数字化信息对机床运动及加工过程进行控制的一种方法。NC已成为数控加工的专用术语。

数控技术:用数控机床(数控设备)进行自动化加工的一种技术,它综合应用了多种学科的知识。

数控机床:指应用数控技术对加工过程进行控制的机床,是实现柔性自动化的关键设备,是柔性自动生产系统的基本单元。

数控加工:泛指在数控机床上进行零件加工的工艺过程。

坐标联动:坐标轴的非独立运动,即一个轴的运动要受到其他轴运动的制约。

坐标联动加工:数控机床加工时的横向、纵向等进给量都是以轴坐标数据控制的,如两坐标车床、三坐标铣床、五轴加工中心等。

脉冲当量:相对于数控系统发出的每个进给脉冲信号,机床移动部件的位移量,也称为最小设定(移动)单位,数控机床根据其精度的不同,常用的脉冲当量为0.01mm、0.005mm及0.001mm。

进给速度:单位时间内坐标轴移动的距离(加工时刀具相对于工件的移动速度)。单位为mm/min或mm/r。

速度修调:通过修调倍率对速度进行适量修调。数控机床在加工过程中能通过速度修调实时调整进给速度和主轴转速,便于加工。

插补:在组成轨迹的直线段或曲线段的起点和终点之间,按一定的算法进行数据点的密化工作,以确定一些中间点的方法就称之为“插补”。计算插补点的运算称为插补运算。

刀补运算:零件的加工程序一般是按零件轮廓和工艺要求的进给路线编制的,而数控机床在加工过程中所控制的是刀具中心的运动轨迹。不同的刀具,其几何参数也不相同,加工前必须将编程轨迹变换成刀具中心的轨迹,这样才能加工出符合要求的零件。刀补运算就是完成这种转换的程序。

机床坐标系:数控机床安装调试时便设定好的一固定的坐标系。

编程坐标系:在对图样上零件编程时就建立的,程序数据便是基于该坐标系的坐标值。

工件坐标系:编程坐标系在机床上的具体体现,由相应的编程指令建立。

六、实训内容

项目1：数控车床的认识实训

1. 技能要求

了解数控车床的机械结构的特点和坐标系统,理解并掌握数控车床的工作原理及组成,对数控车床操作加工步骤有基本认识。

2. 训练内容

1) 数控车床的工作原理。

2) 数控车床的组成及作用。

3) 数控车床的坐标系统。

4) 数控车床操作开机关机。

5) 手动操作数控车床的方法。

3. 训练步骤

1) 数控车床开机。

2) 讲解数控车床的组成、作用和坐标系统。

3) 讲解数控车床的操作方法。

4) 以简单轴类工件为例,通过示范“工艺分析→编制程序→程序输入和调试→装夹工件→对刀→启动程序试加工→工件检验”,进一步讲解数控车床工作原理和加工步骤全过程。

项目2：数控加工中心认识实训

1. 技能要求

了解加工中心的机械结构的特点和坐标系统,理解并掌握加工中心的工作原理及组成,对加工中心操作加工步骤有基本认识。

2. 训练内容

1) 加工中心的工作原理。

2) 加工中心的组成及作用。

3) 加工中心的坐标系统。

4) 加工中心操作开机关机。

5) 加工中心手动操作的方法。

3. 训练步骤

1) 加工中心开机。

2) 讲解加工中心的组成、作用和坐标系统。

3) 讲解加工中心的操作方法。

4) 以简单平面类工件为例,通过示范“工艺分析→编制程序→程序输入和调试→装夹工件→对刀→启动程序试加工→工件检验”,进一步讲解加工中心工作原理和加工步骤全过程。

工艺准备篇

单元2 数控加工工艺分析

一、实训目的与要求

了解数控加工工艺的特点，掌握数控加工工艺分析的方法和数控加工工艺的主要内容，能够制订合理的数控加工工艺规程，会计算工时和生产节拍，会编写零件的数控加工工艺文件。

二、数控加工工艺分析方法

1. 数控加工工艺内容的选择

当某个零件采用数控加工时，并非全部加工工艺过程都适合在数控机床上完成，往往只是其中的一部分适合于数控加工。因此，必须对零件图样进行仔细的工艺分析，选择那些最适合、最需要数控加工的内容和工序进行数控加工。选择时，应结合实际生产情况，充分发挥数控机床的特长，合理安排两类机床的结合，贯彻工艺流程“渐精”的原则，工序由粗渐精，对多工序零件合理安排工序集中和工序分散复合加工。数控加工一般可按下列顺序考虑：

- 1) 通用机床无法加工的内容应作为优选内容。
- 2) 通用机床难加工或质量难以保证的内容应作为重点选择内容。
- 3) 通用机床加工效率低、劳动强度大的内容，可在数控机床尚存在富余能力的基础上进行选择。

通常，上述内容采用数控加工后，在加工质量、生产效率与综合经济效益等方面都会得到明显的提高。相比之下，下列一些内容则不宜选择采用数控加工：

- 1) 占机调整时间长，例如，以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准，需用专用工装协调的内容。
- 2) 加工部位分散，要多次安装、设置原点。这时，采用数控加工很麻烦，效果不明显，可安排通用机床补加工。
- 3) 按某些特定的制造依据（如样板等）加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难，易与检验依据发生矛盾，增加编程难度。

此外，在选择和决定加工内容时，也要考虑生产批量、生产周期和工序间周转情况等。总之，要尽量做到“优质、高产、低消耗”，要防止把数控机床降格为普通机床使用。

2. 零件的工艺分析

对零件进行工艺分析包括零件技术要求分析和结构工艺性分析两个方面。这是制订机械

加工工艺的重要步骤,也是学生应当掌握的基本技能。

(1) 零件的技术要求分析

- 1) 加工表面的尺寸精度。
- 2) 主要加工表面的形状精度和相互位置精度。
- 3) 主要加工表面的设计基准。
- 4) 加工表面的粗糙度和机械物理性能。
- 5) 热处理及其他要求。

分析零件图除分析图样的尺寸、公差和表面粗糙度标准是否齐全外,还应分析零件所要求的加工精度、尺寸公差等是否可以得到保证、有无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。分析零件技术要求的目的归结为一点,是保证零件使用性能前提下的经济合理性。在工程实际中要结合现有生产条件分析实现这些技术要求的可行性。

通过对零件形状和主要表面的了解之后,就可以基本形成零件工艺流程。

(2) 零件的结构工艺性分析 零件的结构工艺性是指所设计的零件在能满足使用要求的前提下,制造的可行性和经济性。良好的结构工艺性,可以使零件加工容易,节省工时和材料。而较差的零件结构工艺性,会使加工困难,浪费工时和材料,有时甚至无法加工。因此,零件各加工部位的结构工艺性应结合数控加工的特点。

1) 零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸,这样可以减少刀具规格和换刀次数,使编程方便,提高生产效率。

2) 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小,因此内槽圆角半径(R)不应太小。零件结构工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转角圆弧半径的大小等因素有关。转角圆弧半径大,可以采用较大直径的立铣刀来加工;加工平面时,进给次数也相应减少,表面加工质量也会好一些,因而工艺性较好。通常 $R < 0.2H$ (H 为被加工轮廓面的最大高度) 时,可以判定零件该部位的工艺性不好。

3) 铣削零件槽底平面时,槽底圆角半径 r 不要过大。铣刀端面刃与铣削平面的最大接触直径 $d = D - 2r$ (D 为铣刀直径)。当 D 一定时, r 越大,铣刀端面刃铣削平面的面积越小,加工平面的能力就越差,效率越低,工艺性也越差。当 r 大到一定程度时,甚至必须用球头铣刀加工,这是应该尽量避免的。

4) 应采用统一的基准定位。在数控加工中若没有统一的定位基准,则会造成因工件重复定位和基准变换所引起的定位误差以及生产率的降低。因此要避免上述问题的产生,保证两次装夹加工后其相对位置的准确性,应采用统一的基准定位。如果零件上没有合适的定位基准,则应在零件上设置辅助基准,以保证数控加工的定位准确、可靠、迅速方便。

通过对零件的工艺分析,可以深入全面地了解零件,及时地对零件结构和技术要求等作必要的修改,进而确定该零件是否适合在数控机床上加工,适合在哪台数控机床上加工,在某台机床上应完成零件的哪些工序或哪些表面的加工等。

3. 定位基准的选择

(1) 选择基准的三个基本要求

- 1) 所选基准应能保证工件定位准确装卸方便可靠。
- 2) 所选基准与各加工部位的尺寸计算简单。

3) 保证加工精度。

(2) 选择定位基准的六个原则:

- 1) 尽量选择设计基准作为定位基准。
- 2) 定位基准与设计基准不能统一时, 应严格控制定位误差保证加工精度。
- 3) 工件需两次以上装夹加工时, 所选基准在一次装夹定位能完成全部关键精度部位的加工。
- 4) 所选基准要保证完成尽可能多的加工内容。
- 5) 批量加工时, 零件定位基准应尽可能与建立工件坐标系的对刀基准重合。
- 6) 需要多次装夹时, 基准应该前后统一。

4. 加工方法的选择和加工方案的确定

(1) 加工方法的选择 加工方法的选择原则是在满足加工表面精度前提下追求高效率。由于获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法一般有很多, 因而在实际选择时, 要结合零件的形状、尺寸大小和热处理要求等全面考虑。例如, 对于 IT7 级精度的孔采用镗削、铰削、磨削等加工方法均可达到精度要求, 但箱体上的孔一般采用镗削或铰削, 而不宜采用磨削。一般小尺寸的箱体孔选择铰孔, 当孔径较大时则应选择镗孔。此外, 还应考虑生产率和经济性的要求以及工厂的生产设备等实际情况。常用加工方法的经济加工精度及表面粗糙度可查阅有关工艺手册。

(2) 加工方案的确定 零件上比较精密表面的加工, 常常是通过粗加工、半精加工和精加工逐步达到的。对这些表面仅仅根据质量要求选择相应的最终加工方法是不够的, 还应正确地确定从毛坯到最终成形的加工方案。

确定加工方案时, 首先应根据主要表面的精度和表面粗糙度的要求, 初步确定为达到这些要求所需要的加工方法。例如, 对于孔径不大的 IT7 级精度的孔, 最终加工方法取精铰时, 则精铰孔前通常要经过钻孔、扩孔和粗铰孔等加工。

三、数控加工工艺规程的制订

1. 工艺路线设计

(1) 工序划分 根据数控加工的特点, 数控加工工序的划分一般可按下列方法进行:

- 1) 以一次安装、加工作为一道工序。这种方法适合于加工内容较少的零件, 加工完后就能达到待检状态。
- 2) 以同一把刀具加工的内容划分工序。有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工表面, 但考虑到程序太长, 会受到某些限制, 如控制系统的限制 (主要是内存容量), 机床连续工作时间的限制 (如一道工序在一个工作班内不能结束), 各机床负荷率平衡等。此外, 程序太长会增加出错与检索的困难, 因此程序不能太长。但长程序分工序加工会增加安装的制造难度, 因此, 要综合考虑一道工序的内容。

3) 以加工部位划分工序。对于加工内容很多的工件, 可按其结构特点将加工部位分成几个部分, 如内腔、外形、曲面或平面, 并将每一部分的加工作为一道工序。

4) 以粗、精加工划分工序。对于加工后易发生变形的工件, 由于对粗加工后可能发生的变形需要进行校形, 故一般来说, 凡要进行粗、精加工的过程, 都要将工序分开。

总之, 在划分工序时, 一定要根据零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数及本企业生产组织状况灵活掌握。零件宜采用工序集中的原则还是采用