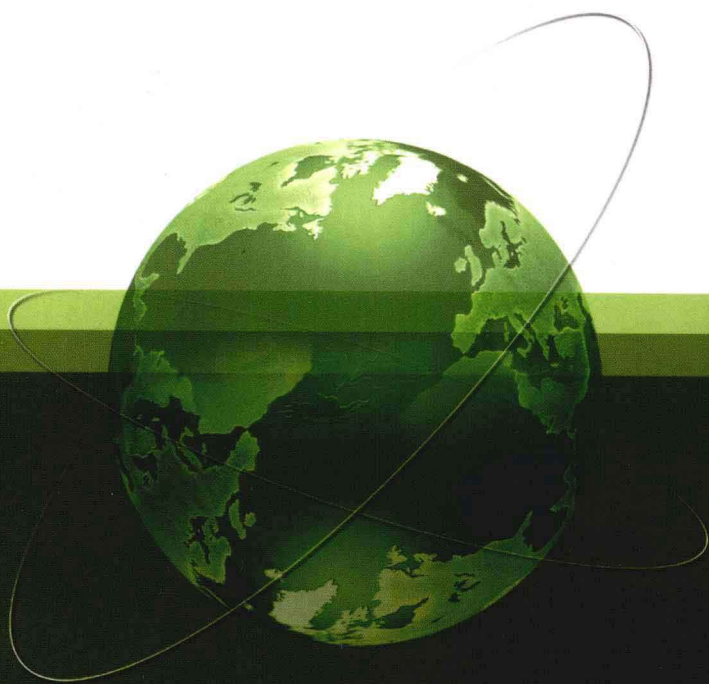




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪高职高专规划教材 (机械类)

数控机床及其 使用和维修



郑晓峰 陈少艾 主编



配电子教案

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

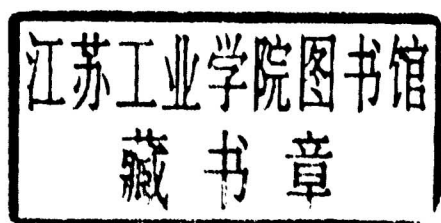
21 世纪高职高专规划教材（机械类）

数控机床及其使用和维修

主 编 郑晓峰 陈少艾

副主编 王丽洁

参 编 宋昌平 王文浩



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书详细介绍了数控机床概述、典型数控机床的机械结构、典型数控系统、数控机床伺服驱动与检测装置、数控机床机械故障诊断与维修、数控系统的故障诊断与维修、数控机床的 PLC 故障诊断与维修、数控机床的安装调试与验收、数控机床的维护与维修管理、数控机床维修实例。本书以培养学生实际动手能力为主线,力求体现高等职业教育的特色,用较大篇幅介绍了数控机床典型结构及各组成部分故障诊断与维修的应用实例,讲练结合,内容浅显、易懂、实用,具有很强的针对性和可操作性。

本书主要作为高职院校数控技术、数控设备应用与维护等专业的教材,同时可供相关专业技术人员参考。

本书配有电子教案,凡一次性购书 30 本以上者免费赠送一份电子教案。请与本书责任编辑余茂祚联系(联系电话 010-88379759,邮箱 yumaozuo@163.com)

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及其使用和维修/郑晓峰,陈少艾主编.
—北京:机械工业出版社,2008.6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材.21 世纪高职
高专规划教材(机械类)
ISBN 978-7-111-24332-8

I. 数… II. ①郑… ②陈… III. ①数控机床-高等学校
②技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 088399 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:余茂祚 责任校对:陈延翔
封面设计:马精明 责任印制:邓 博
北京京丰印刷厂印刷
2008 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·18.5 印张·457 千字
0 001—4 000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-24332-8
定价:29.80 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) 68354423
封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编委会名单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭
刘 义	刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东
李兴旺	李居参	李麟书	杨国祥	余党军
张建华	茆有柏	秦建华	唐汝元	谈向群
符宁平	蒋国良	薛世山	储克森	

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

王若明	田建敏	成运花	曲昭仲	朱 强
刘 莹	刘学应	许 展	严安云	李连邨
李学锋	李选芒	李超群	杨 飒	杨群祥
杨翠明	吴 锐	何志祥	何宝文	余元冠
沈国良	张 波	张 锋	张福臣	陈月波
陈向平	陈江伟	武友德	林 钢	周国良
宗序炎	赵建武	恽达明	俞庆生	晏初宏
倪依纯	徐炳亭	徐铮颖	韩学军	崔 平
崔景茂	焦 斌			

总 策 划 余茂祚

前 言

本书是数控技术、数控设备应用与维护等专业主干课程之一，是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书编者结合多年的实际教学经验和数控机床发展的最新成果，按照数控技术、数控设备应用与维护等专业的教改思路编写的，教材力求取材科学、新颖。通过大量实例介绍，以培养学生分析问题、解决问题以及动手能力为主线，达到理论够用、通俗易懂、实用性强的目的。

本书共分10章，第1章 数控机床概述；第2章 典型数控机床的机械结构；第3章 典型数控系统；第4章 数控机床伺服驱动与检测装置；第5章 数控机床机械故障诊断与维修；第6章 数控系统的故障诊断与维修；第7章 数控机床的PLC故障诊断与维修；第8章 数控机床的安装调试与验收；第9章 数控机床的维护与维修管理；第10章 数控机床维修实例。通过讲练结合，项目驱动，工学结合的教学模式，使学生对数控机床及其维护有更进一步的理解和掌握。

本书由安徽机电职业技术学院郑晓峰、武汉船舶职业技术学院陈少艾担任主编。郑晓峰编写了第3章、第4章、第5章、第7章和附录；陈少艾编写了第2章；西安理工大学高等技术学院王丽洁担任副主编，编写了第6章和第8章；大连职业技术学院宋昌平编写了第1章和第9章；安徽机电职业技术学院王文浩编写了第10章。全书由郑晓峰统稿。

本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献，在此谨致谢意。

由于编者水平有限，经验不足，书中定有错误与不当之处，恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 数控机床概述 1

- 1.1 数控机床简介 1
- 1.2 数控机床的工作原理
及组成 10
- 1.3 数控机床的分类 13
- 1.4 数控机床技术的发展趋势 17
- 复习思考题 20

第2章 典型数控机床的 机械结构 21

- 2.1 数控车床 21
- 2.2 数控铣床 28
- 2.3 加工中心 35
- 2.4 其他常用数控加工设备 46
- 复习思考题 64

第3章 典型数控系统 65

- 3.1 数控系统的总体结构 65
- 3.2 FANUCOI 数控系统的硬件
组成与连接 82
- 3.3 SIEMENS 802D 数控系统的硬
件组成与连接 88
- 3.4 其他常用数控系统简介 95
- 复习思考题 101

第4章 数控机床伺服驱动 与检测装置 102

- 4.1 概述 102
- 4.2 步进电动机及驱动电路 104
- 4.3 交流电动机伺服系统 112
- 4.4 位置检测装置 120
- 复习思考题 132

第5章 数控机床机械故障诊断 与维修 133

- 5.1 数控机床机械故障诊断方法 133

- 5.2 数控机床进给传动部
件故障的维修 140
- 5.3 主轴部件故障的维修 147
- 5.4 机械辅助部件故障的维修 149
- 复习思考题 157

第6章 数控系统的故障诊断 与维修 158

- 6.1 数控机床故障特点 158
- 6.2 数控系统的故障诊断方法 159
- 6.3 数控系统现场维修的
要求 164
- 6.4 控制系统的故障诊断 168
- 6.5 伺服系统的故障诊断 173
- 复习思考题 184

第7章 数控机床的 PLC 故障诊断 与维修 185

- 7.1 PLC 在数控机床中的功能 185
- 7.2 数控机床中 PLC 的 I/O 194
- 7.3 数控机床中的 PLC
应用实例 195
- 7.4 数控机床 PLC 的故障形式
与诊断方法 209
- 7.5 数控机床中的 PLC
故障处理 210
- 复习思考题 217

第8章 数控机床的安装调 试与验收 218

- 8.1 数控机床的安装与调试 218
- 8.2 数控机床的验收 222
- 复习思考题 235

第9章 数控机床的维护与 维修管理 236

- 9.1 数控机床的维护 236

9.2 数控机床的抗干扰技术	239	10.8 归基准点的故障诊断	271
9.3 数控机床的维修管理	247	10.9 数控机床中光电脉冲编 码器的维修	272
复习思考题	252	复习思考题	273
第 10 章 数控机床维修实例	253	附录 FANUC0TC 系统报警清单	274
10.1 概述	253	附表 A 系统单元的故障报警	274
10.2 典型 FANUC 系统数控机 床维修方法	253	附表 B 编码器报警	274
10.3 典型 SIEMENS 系统数控 机床维修方法	260	附表 C 伺服系统报警	275
10.4 数控机床中几种无报警 故障的维修	264	附表 D 超程故障报警	276
10.5 加工中心掉刀故障分析 与处理	267	附表 E PEC 故障报警	278
10.6 数控机床联轴器松动 故障排除	268	附表 F 后台编辑报警	278
10.7 机床爬行与振动	269	附表 G 宏程序报警	278
		附表 H 程序错误报警	278
		参考文献	288

第 1 章 数控机床概述

随着社会对产品需求的多样化与科学技术发展的现代化,要求机械产品的形状及结构日趋复杂,加工质量越来越高,而且生产周期短,单件、小批生产的机械产品所占比重越来越大。这不但对机械制造的精度与效率提出了更高的要求,而且对生产的适应性、灵活性等提出了更高的要求。特别是在航空、航天、国防工业的各个领域以及模具行业,零件精度高、形状复杂、批量小且频繁改型,使用普通机床加工这些零件则存在生产效率低、劳动强度大、加工精度难以保证,有时甚至不能加工等现象。使用组合机床及自动化生产线可以有很高的效率和加工精度,但缺乏生产的灵活性和对单件小批量生产的适应性,尤其是对复杂多变的零件加工没有“柔性”。数控机床就是在这样的条件下产生和发展起来的,它能有效地适应产品不断变化的多品种、小批量、高精度、高效率的自动化生产的需求。

数控机床加工工件所需要的各种操作,如变速、工件或刀具的装卸和定位、冷却液的开关以及刀具相对于工件之间的进给运动等,可以用数控编程指令编制控制程序,再通过计算机数控装置的自动运算实现控制,将程序中的指令变为机床的各种操作或运动,实现零件的自动加工。

1.1 数控机床简介

1.1.1 数控机床的产生

数控机床是综合运用了计算机技术、微电子技术、自动控制技术、自动检测技术、精密机械制造技术、网络通信技术、液压气动技术等高新技术而发展起来的,是具有高精度、高自动化、高效率的典型机电一体化产品。它的产生和发展是制造技术发展过程中的一个重大突破,标志着制造领域中数控加工时代的开始,从此机械加工业进入了一个崭新的时代。

采用数字控制技术进行机械加工的思想,最早是在 20 世纪 40 年代初提出的。当时,美国北密执安的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司 (Parsons Co.), 在制造飞机框架及直升机叶片轮廓用样板时,利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理,并考虑了刀具直径对加工路径的影响,提高了加工精度。当时的加工精度达到 $\pm 0.0015\text{in}(\pm 0.0381\text{mm})$ 。

1949 年,帕森斯公司正式接受美国空军委托,在麻省理工学院伺服机构实验室的协助下,开始从事数控机床的研制工作。经过 3 年时间的研究,于 1952 年试制成功世界第一台数控机床试验性样机,并取名“Numerical Control”。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制铣床,这便是数控机床的第一代产品。利用帕森斯公司的技术,第一台工业用数控机床于 1954 年由美国的本迪克公司 (Bendix Co.) 生产出来。1959 年,电子行业研制出晶体管元器件,数控装置中便广泛采用晶体管和印制电路板,数控机床的控制系统跨入了第二代。1965 年,出现了小规模集成电路。由于集成电路体积小、功耗低,使数控系统的可靠性得以进一步提高,使数控系统发展到第三代。在此期间,由美国克耐-杜列克公

司 (Keaney & Trecker Co.) 发明了带有自动换刀装置的数控机床, 被称为“加工中心”。以上三代数控机床, 都是采用专用控制计算机的硬接线逻辑数控系统 (NC 系统)。

随着计算机技术的发展, 小型计算机的价格急剧下降。小型计算机开始取代专用数控计算机, 数控的许多功能由软件程序实现。这样的数控系统称为计算机数控系统 (简称数控系统)。1970 年, 在美国芝加哥国际机床展览会上, 首次展出了这种系统, 称为第四代数控系统。

1974 年以后, 国际上又出现了以微处理器为核心的数控系统, 即微机控制的数控系统。这种数控系统体积小、价格低、性能稳定、功能强大。30 多年来, 微机数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛应用, 这就是第五代数控系统 (MNC), 但人们现在仍习惯将 MNC 系统称为数控系统。第四代以后的产品, 由于基本的数控功能可由软件程序实现, 所以又称为软接线数控系统。

20 世纪 80 年后, 国际上相继又研制出了柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell) 及柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System)。

20 世纪 90 年代, 出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 (CIMS), 其中数控机床是其基本控制单元, FMC 和 FMS 是实现 CIMS 的必经阶段和基础。

目前, 我国是世界机床消费第一大国, 数控机床的占有率也逐年提高。2005 年我国机床的数控化率为 9.5% ~ 10.36%, 到 2010 年将达到 16.5% ~ 19.27%。同时, 我国已经建立起了门类齐全, 以生产中、低档数控机床为主的产业体系, 并积极研制开发了高档数控机床及数控系统。数控机床产量高速增长, 我国数控机床的年均增速将在 30% 以上。2004 年, 国产金属切削机床年产量达到 38.94 万台, 数控机床产量 5.19 万台; 数控机床生产企业 166 家, 高精度机床生产企业 31 家, 大型机床生产企业 40 家。

随着世界制造业的中心向亚洲转移, 可以预计, 未来我国将成为数控机床生产、使用的大国。

1.1.2 数控机床相关的概念与术语

数字程序控制机床一般简称为数控机床。它是由数控装置或计算机进行控制的一种高效能自动化机床, 它综合应用了自动控制技术、计算机技术、精密测量技术、液压气动技术等, 并在机床结构等方面运用了最新技术。

1. 数控技术与数控机床的概念

(1) 数控技术。数控技术是用数字控制信息对机械运动和工作过程进行控制的技术, 是现代化工业生产中的一门新型的、发展十分迅速的高新技术。

数控技术范围所覆盖的领域有: 机械制造技术, 微电子技术, 信息处理、加工、传输技术, 自动控制技术, 伺服驱动技术, 检测监控技术, 传感器技术, 软件技术等。

(2) 数控机床。数控机床 (NC Machine) 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。该系统能逻辑处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

数控设备是以数控技术为代表的新技术, 对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机

电一体化产品,即所谓的数字化装备。

数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业,生物技术及其产业,航空、航天等国防工业)的使能技术和最基本的装备,在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善工人劳动强度等方面,都有突出的优点;特别是在适应机械产品迅速更新换代以及小批量、多品种生产方面,各类数控装备是实现先进制造技术的关键。

2. 数控技术常用术语

(1) 数字控制 (Numerical Control)。它是用数字化信号对机械的运动及其工作过程进行控制的一种控制方法,简称为数控 (NC)。

(2) 数控系统 (Numerical Control System)。它是指能对机床的运动及其加工过程进行控制的程序控制系统。它能接受信息载体上事先给定的程序并将其译码,从而控制机床运动并加工零件。

早期的数控系统由数控装置、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成,属硬接线结构,所以称为 NC 系统;现在的数控系统由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程程序控制器 (PLC)、存储器、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成,习惯上称为数控系统 (Computer Numerical Control System)。

(3) 开放式数控系统 (Open Numerical Control System)。一个开放式系统应保证使开发的应用软件能在不同厂商提供的不同的软硬件平台上运行,且能与其他应用软件系统协调工作。现大多数数控系统制造商提供的数控系统多是开放式数控系统。

(4) 数控加工 (NC Machining)。根据零件图样及工艺要求等原始条件,编制零件数控加工程序(简称为数控程序),并输入数控系统,控制数控机床中刀具与工件的相对运动,从而完成零件的加工。

(5) 数控程序 (NC Program)。可以输入数控机床的数控系统,执行一个确定的加工任务的一系列指令,称为数控程序或零件程序。

(6) 数控编程 (NC Programming)。编制用于数控机床进行零件加工的数控程序的过程,称为数控编程。

(7) 脉冲当量 (Pulse Equivalent)。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。脉冲当量是影响加工精度的主要因素,脉冲当量也称为分辨率。

(8) 插补 (Interpolation)。是根据程序信息计算出运动轨迹上许多中间点的坐标,再以中间点之间的位移量为输出单元,通过控制电路向各坐标轴执行元件送出操作信号,控制机床按规定的速度和方向移动,形成加工轨迹。

(9) 坐标轴 (Axis)。机床的部件可以沿着其作直线移动或回转运动的基准方向。

(10) 机床坐标系 (Machine Coordinate System)。固定于机床上,以机床零点为基准的右手笛卡儿坐标系。

(11) 机床坐标原点 (Machine Coordinate Origin)。即机床坐标系的原点。

(12) 工件坐标系 (Work-piece Coordinate System)。即固定于工件上的坐标系。

(13) 工件坐标原点 (Work-piece Coordinate Origin)。即工件坐标系的原点。

(14) 参考点 (Reference Position)。机床起动时建立机床坐标系用的一个固定点,一般为刀具行程的最大极限位置,也可用机床坐标原点作为参考基准点。

1.1.3 数控机床的应用特点

1. 数控机床与普通机床的区别

(1) 工作方式不同。数控机床具有按程序自动加工的功能,也具有手动加工(用电子手轮)、机动加工的功能,加工过程中一般不需要人工干预。而普通机床只有手动和机动加工功能,整个加工过程全部由人工操作和控制。

(2) 传动系统不同。数控机床主传动和进给系统采用交、直流无级调速伺服电动机驱动,一般没有主轴变速箱和进给变速箱,机床传动链短。而普通机床主传动和进给系统一般采用三相异步交流电动机通过变速箱实现多级变速来满足工艺要求,机床传动链长。

(3) 控制功能不同。数控机床的数控系统功能强大,通过 CRT 显示器可显示加工程序、刀具运动轨迹、零件图形以及加工时间等,出现意外可自动报警,加工中途不会因测量尺寸等而停止,可自动高效地完成整个加工过程。

(4) 适应性不同。数控机床与其他自动机床的一个显著区别在于当加工对象改变时,除了重新装夹工件和调整刀具外,数控机床只需更改相应的加工程序,而不需要对机床作较大的调整即可加工出所需的各种不同工件。

2. 数控机床的优点

(1) 适应性强,适合加工单件或中小批量复杂工件。在数控机床上改变加工工件时,只需要重新编制(或更换)程序就能实现新工件的加工。数控机床上工件的装夹只需要简单的夹具。加工工件改变时,不需要制作特别的工装夹具;不需要重新调整机床,这就为复杂结构的单件、小批量生产及试制产品提供了极大的便利。数控机床还能实现精密复杂工件的自动加工。

(2) 加工精度高,产品质量稳定。数控机床是按程序指令进行加工的。由于数控机床的脉冲当量普遍达到了 0.001mm 甚至更小,而且传动系统和机床结构都具有很高的刚度、热稳定性、工件加工精度高,进给系统采用消除间隙措施,反向间隙与丝杠螺距误差可由数控装置自动补偿,所以数控机床能达到很高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可在 0.02mm ,重复定位精度为 0.01mm 。特别是数控机床的加工完全是自动进行的,消除了操作者人为产生的误差,使同一批工件尺寸的一致性,加工质量十分稳定。

(3) 自动化程度高,劳动强度低。数控机床对工件的加工是按事先编好的程序自动完成的,工件加工过程中不需要人的干预,加工完毕后自动停车,使操作者的劳动强度与紧张程度大为减轻。加上数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑,操作者的劳动条件也大为改善。

(4) 生产效率高。工件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床有效地减少了这两部分的时间。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大,能选用最有利的切削用量;数控机床的结构刚性好,能使用大切削用量的强力切削,从而提高数控机床的切削效率,节省机动时间;数控机床的移动部件空行程速度快,工件装夹时间短,辅助时间比一般机床少。

(5) 良好的经济效益。数控机床虽然设备昂贵,分摊到每个工件的设备费用较高,但用数控机床加工工件可以节省许多其他费用,如用数控机床加工工件可以节省划线工时,减少调整、加工和检验的时间,节省了直接生产的费用;数控机床加工不需设计制造专门工装

夹具,节省了工艺装备费用;数控机床加工精度稳定、废品率低、生产成本低。另外,数控机床可以一机多用,节省厂房面积,减少建厂投资。因此,使用数控机床加工可以获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化。数控机床加工工件,能准确地计算工件加工工时和费用,有效地简化检验工装夹具和半成品的管理工作,有利于生产管理的现代化。

3. 数控机床的使用特点

(1) 对操作及维修人员的技术水平要求较高。数控机床采用计算机控制,伺服系统技术复杂,机床精度很高。因此,要求操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和技术素质。

数控机床是根据程序进行加工的,程序的编制既要有一定的技术理论又要有一定的经验技巧,可由操作人员手工编制,也可以使用计算机辅助编制。加工程序的编制直接关系着数控机床功能的开发和使用,并直接影响数控机床的加工精度。因此,数控机床的操作人员除了要具有一定的工艺基础知识外,还应对数控机床的结构特点、工作原理以及程序编制进行必备的技术理论培训和操作训练,经考核合格后才能上机操作,以防操作使用时发生人为事故。除此之外,还应能正确编写或快速理解程序,对数控加工过程中出现的各种情况作出正确的综合判断和处理。

正确和有效的维护是提高数控机床效率的基本保证。数控机床的维修人员应有较高的、较全面的数控理论知识和维修技术。如机修人员要懂得一些数控机床的电气维护知识;电气维修人员要了解数控机床的结构和程序编制;维修人员应有比较宽的机、电、液压方面的专业知识,才能综合分析、判断故障根源,缩短故障停机时间,实现高效维修。因此,数控机床维修人员也必须经过专门的培训才能上岗。此外,还要对与数控机床使用的相关工作人员进行数控加工技术知识的普及,以利于数控机床发挥更高的效能。

(2) 对夹具和刀具的要求较高

1) 数控机床对夹具的要求

① 单件或小批量生产时,一般采用通用夹具;批量生产时,为节省加工时间,应使用专用夹具或组合夹具。

② 夹具应该定位可靠,能自动夹紧或松开工件,具有良好的排屑和冷却结构。

2) 数控机床对刀具的要求

① 精度较高、寿命长、尺寸稳定、变化小。

② 能实现机外预调、快速换刀。

③ 刀柄应为标准系列。

④ 能很好地控制切屑的折断、卷曲和排出。

⑤ 具有良好的冷却性能。

(3) 数控机床的应用范围广。数控机床具有一般机床所不具备的许多优点,其应用范围正在不断扩大,但它目前并不能完全代替一般机床,也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件:

1) 多品种、小批量生产的零件。

2) 形状结构比较复杂的零件。

3) 需要频繁改型的零件。

- 4) 价值昂贵, 不允许报废的零件。
- 5) 需要最短周期的急需零件。
- 6) 批量较大、精度要求高的零件。

由于数控机床可实现自动化加工, 能实现一人操作多台数控机床, 从而减少操作工人数量, 提高生产率。综合考虑成本因素, 某些大批量生产的零件也可采用数控机床加工。特别是采用经济型数控机床加工也是可行的。

1.1.4 数控机床的主要功能

1. 可控轴数与联动轴数 可控轴数是指数控系统最多可以控制的坐标轴数目, 包括移动轴和回转轴。联动轴数是指数控系统按照加工要求同时控制运动的坐标轴数目。

2. 插补功能 插补就是在工件轮廓的某起始点和终止点之间, 进行“数据密化”并求取中间点的过程。插补功能是指数控机床能够实现的线性加工能力。

由于直线和圆弧是构成零件轮廓曲线的基本几何元素, 所以大多数数控系统都具有直线和圆弧的插补功能, 而椭圆、抛物线、螺旋线等复杂曲线的插补, 只有高档数控系统或特殊需要的数控系统才具备这种功能。

3. 进给功能 数控系统的进给功能包括快速进给、切削进给、手动连续进给、点动进给、进给倍率修调、自动加减速等功能。

4. 主轴功能 数控系统的主轴功能包括恒转速控制、主轴定向停止、主轴转速修调等。恒转速控制即主轴自动变速, 可使刀具相对于切削点的速度保持不变。主轴定向停止也称为主轴准停, 即在换刀和精镗孔后退刀等动作开始之前, 主轴在工件圆周方向实现准确定位。

5. 刀具补偿功能 刀具补偿功能包括刀具位置补偿、刀具半径补偿和刀具长度补偿。位置补偿是对车刀刀尖位置变化和刀具在进行换刀后位置变化的补偿; 刀具半径补偿是对车刀刀尖半径, 铣刀半径变化的补偿; 刀具长度补偿是指沿着加工深度方向对刀具长度变化的补偿。

6. 操作功能 数控机床通常有单程序段执行、跳段执行、试运行、图形模拟、机械锁住、暂停和急停等功能, 有的还有软件操作功能。

7. 程序管理功能 数控系统的程序管理功能是指对加工程序的检索、编辑、修改、插入、删除、更名和程序的存储、通信等功能。

8. 图形显示功能 一般的数控系统都具有 CRT 显示器或液晶显示器, 可以显示字符和图形、人机对话、自诊断等信息, 具有刀具轨迹的动态显示。高档的数控系统还具有三维图形显示功能。

9. 辅助编程功能 除基本的编辑功能外, 数控系统通常还具有固定循环、镜像、图形缩放、子程序、宏程序、坐标系旋转、极坐标等编程功能。这样可以减少手工编程的工作量和减小编程的难度。

10. 自诊断报警功能 现代数控系统具有人工智能的故障诊断系统, 可以用来实现对整个加工过程的监视, 诊断数控系统的故障并及时报警。这种系统是以专家们所掌握的各种故障原因及其处理方法为依据而开发出来的应用软件。操作者只要回答显示器中提出的简单问题, 就能和专家一样诊断出数控机床的故障原因, 并指出排除故障的方法。

11. 通信功能 数控系统一般都配有 RS-232C 或 RS-422 远距离串行接口, 可以按照用

户的格式要求,与同一级计算机进行多种数据交换。现代数控系统大都具有制造自动化协议(MAP)接口,并采用光缆通信,提高数据传输的速度和传输的可靠性。

1.1.5 数控机床的性能指标

1. 主要技术规格 数控车床主要技术规格有床身规格尺寸、最大车削直径、刀架最大回转直径、最大车削长度等;数控铣床主要技术规格有工作台尺寸、工作台T形槽尺寸、工作台行程等规格尺寸。

2. 运动指标 数控机床主轴采用直流或交流伺服电动机驱动,选用高速精密轴承支撑,保证主轴具有较宽的调速范围和较高的回转精度以及较高的刚度和抗震性。现代数控机床的主轴转速普遍达到 $5000 \sim 10000 \text{r/min}$,甚至更高。主轴转速可以通过操作面板上的“主轴转速倍率”开关直接调整。

3. 精度指标

(1) 脉冲当量(分辨率)。脉冲当量是影响数控机床加工精度的主要因素,是数控机床的重要精度指标之一。经济型数控机床的脉冲当量一般为 0.01mm ,普通数控机床的脉冲当量多为 0.001mm ,精密或超精密数控机床的脉冲当量一般在 $0.0001 \sim 0.001 \text{mm}$ 之间。

(2) 定位精度。定位精度是指数控机床工作台等移动部件所达到的实际位置精度。实际位置与指令要求位置的差值为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给系统误差以及运动部件的几何误差。定位误差将直接影响零件加工的精度,一般数控机床的定位精度为 $0.001 \sim 0.008 \text{mm}$ 。

(3) 重复定位精度。重复定位精度是指在相同的条件下,采用相同的操作方法,重复进行同一动作时得到的定位精度一致性程度。一般数控机床的重复定位精度为 0.008mm 。

4. 刀具系统 数控机床的刀具系统包括刀架工位数、刀具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间等各项指标。加工中心刀库的容量与换刀时间直接影响加工效率,通常数控车床的回转刀架容量为 $4 \sim 8$ 个刀位,中小型加工中心的刀库容量为 $16 \sim 60$ 把,大型加工中心的刀库容量为 100 把以上。

5. 其他指标 除了以上性能指标外,还有主轴变频电动机、进给伺服电动机的规格型号和功率等电气指标,冷却系统指标,数控机床外形尺寸、机床重量等。

1.1.6 数控机床的选用

数控机床在国民经济中发挥着重要的作用。如何从品种繁多、价格昂贵的数控机床中选择适用的数控机床,如何使这些数控机床在机械制造中充分发挥作用,已成为广大用户十分关心的问题。选用数控机床时一般应考虑以下因素:

1. 根据零件的类型选择数控机床 由于不同类型的数控机床都有其不同的使用范围和使用要求,只有在一定条件下加工一定的工件,才能达到最佳的加工效果。因此,在选购数控机床时首先要明确被加工的对象。

每一种数控机床都有其最佳典型零件的加工。如加工箱体、泵体、壳体等零件,则应选用卧式加工中心;加工板类、盖、平面凸轮等零件,则应选用立式加工中心或数控铣床。如卧式加工中心的典型零件在立式加工中心上加工,零件的多面加工则需要更换夹具和倒换工艺基准,这就会降低生产效率和加工精度。若立式加工中心的典型零件在卧式加工中心上加

工,则需要增加弯板夹具,这会降低零件加工工艺系统刚性和工效。相同规格的机床,一般卧式的价格要比立式的高70%~100%,零件加工费也高。

另外,当工件只需要钻削或只需要铣削时,就不要购买加工中心;能用数控车床加工的零件就不要用车削中心;能用三轴联动的机床加工零件就不要选用四轴、五轴联动的数控机床。总之,选择数控机床应紧紧围绕本企业的实际需要,功能上以够用为度,不要盲目追求“高、精、尖”,以免造成浪费。

2. 数控机床规格的选择 数控机床规格的选择应结合确定的典型零件尺寸,选用相应的规格以满足加工典型零件的需要。数控机床的主要规格包括工作台面的尺寸、坐标轴数以及行程范围、主轴电动机功率和切削转矩等。

工作台面大小确定了加工空间的大小。选用工作台面尺寸一般应大于工件的最大轮廓尺寸,保证工件在其上能顺利找正及安装;各坐标轴行程应满足加工时进退刀的要求;工件和夹具的总重量不能大于工作台的额定负载荷。还要考虑工件与机床换刀空间不产生干涉及其在工作台上回转时,不与护罩及附件发生干涉等一系列问题。

主轴电动机功率反映了数控机床的切削效率和机床在切削时的刚性。目前,一般加工中心都配置了功率较大的直流或交流高速电动机,可用于高速切削。但在低速切削中,转矩受到一定限制,这是由于调速电动机在低速时功率输出下降造成的。因此,当需要加工大直径和余量很大的工件时,必须对低速转矩进行校核以满足切削的要求。

3. 数控机床精度的选择 数控机床的精度等级应根据典型零件关键部位加工精度的要求来决定。影响机械加工精度的因素很多,如机床的制造精度、插补精度、伺服系统的随动精度以及切削温度、切削力、各种磨损等。而用户在选用机床时,主要应考虑综合加工精度是否能满足加工的要求。

目前,世界各国都制定了数控机床的精度标准。机床生产厂商在数控机床出厂前多按照相应标准进行了严格地控制和检验。在各项精度标准中,人们最关心的是直线定位精度和重复定位精度。对于加工中心和数控铣床,还有一项铣圆精度。以此三项精度值,可将数控机床分为普通型和精密型。表1-1为加工中心的精度比较。

表1-1 加工中心精度比较

(单位:mm)

精度项目	普通型	精密型
直线定位精度	$\pm 0.01/\text{全程}$	$\pm 0.005/\text{全程}$
重复定位精度	± 0.006	± 0.002
铣圆精度	0.03~0.04	0.02

(1) 机床直线定位精度和重复定位精度。机床直线定位精度和重复定位精度反映了坐标轴各运动部件的综合精度,尤其是重复定位精度,它反映了坐标轴在有效行程内任意定位点的定位稳定性,这是衡量该坐标轴能否稳定可靠工作的基本指标。加工中心数控系统的软件功能比较丰富,它可以对控制轴的螺距误差进行补偿和反向间隙补偿。各坐标轴的累积误差与丝杠螺距累积误差有直接关系,同样可以用控制系统螺距补偿功能来补偿。进给传动链中,反向误差也可用反向间隙补偿功能来补偿。

(2) 铣圆精度。铣圆精度综合反映了机床两轴联动时,伺服运动特性和控制系统的插补功能。铣圆精度对加工中心、数控铣床来说,它反映了工件轮廓加工所能达到的最好加工

精度。对于大直径孔的圆柱面、大圆弧面可在具有这种功能的机床上采用高性能的立铣刀对其进行加工。

测定铣圆精度时,可采用立铣刀先铣一个标准圆柱试件。中小型铣床的试件直径为200~300mm,大型铣床则相应增大测试件的直径。加工完毕后,用圆度仪测量该圆柱的轮廓线,绘出轮廓线的最大包络圆和最小包络圆,两者之间的差值即为铣圆精度。

4. 数控系统的选择 世界上数控系统的种类、规格非常多。目前,我国使用较广泛的有日本的FANUC系统、德国的SIEMENS系统、美国的A-B系统等。另外,我国国产的数控系统近年来也得到了快速发展,其功能也日臻完善。为了使数控系统与机床相匹配,在选择数控系统时可遵循以下基本原则:

(1) 根据数控机床类型选择数控系统。数控系统有适用于车、铣、镗、磨、冲压、造型等加工类别,所以应有针对性地进行选择。

(2) 根据数控机床的设计指标选择数控系统。在可供选择的数控系统中,其性能差别很大。如FANUC公司生产的15系统,最高进给速度可达240m/min,而0系统,只能达到24m/min。它们的价格也相差数倍。如果设计的是一般数控机床,最高进给速度为20m/min左右,那么选择FANUC0系统就可以了。不能片面地追求高水平、新系统,而应该对性能和价格等应作综合分析,选用适合的系统。

(3) 根据数控机床的性能选择数控系统功能。一个数控系统具有许多功能可供选择。有些属于基本功能;有些属于选择性功能。数控系统生产厂商是根据系统基本功能来确定价格的,所以一定要根据机床性能的需要来选择。

(4) 订购数控系统时要考虑周全。订购时应把所需的系统一次订齐全。对于那些价格增加不多,但对使用会带来方便的功能,应当配置齐全,保证机床到位后可立即投入生产,切忌因漏订了一些功能而使机床功能降低或无法使用。

5. 自动换刀装置与刀库容量的选择及刀柄的配置

(1) 自动换刀装置与刀库容量的选择。自动换刀装置(即ATC)是加工中心、车削中心和带交换冲头数控压力机的基本特征。ATC的工作质量直接影响整台数控机床的质量。ATC的工作质量主要表现为换刀时间和故障率。加工中心的近50%故障与ATC的工作质量有关。而ATC的投资往往占整台机床投资的40%左右。因此,用户应在满足使用要求的情况下,尽量选用结构相对简单和可靠性高的ATC。

ATC中存储刀具的数量,一般为十几至一百把。机床生产厂商对同一种规格的机床,通常有多种容量的刀库供用户选择,如立式加工中心刀库容量有16,20,24,32把等;卧式加工中心刀库容量有30,40,60,80把等,用户通常以满足典型零件在一次安装中所需刀具数量来确定的。

根据国内外的使用经验,对中小型机床而言,一般在立式加工中心上选用20把左右刀具容量的刀库,在卧式加工中心上选用40把左右刀具容量的刀库为宜。

(2) 刀柄的配置。当ATC及刀库容量选定后,刀柄的配置就显得十分重要。一般来讲,机床生产厂家会根据使用经验为用户提供一套常用的刀柄,但对每个具体用户不一定都适用。因此,用户在订购数控机床时必须同时订购刀柄,最佳的订购方案是根据典型零件确定刀柄的品种和数量。在数控机床使用的工具系统,世界各国都有相应的标准系列,我国采用的是由成都工具研究所制定的TSG工具系统刀柄。

刀柄的配置与选择应注意的问题:

1) 标准刀柄与机床主轴孔连接的接合面是 7:24 锥面。刀柄有多种规格,常用的有 ISO 标准的 40 号、45 号、50 号。另外还必须考虑换刀机械手夹持尺寸的要求和主轴上拉紧螺钉(拉钉)的尺寸要求。因此,在选定数控机床后,选择刀柄之前必须了解该数控机床主轴采用的规格、机械手夹持尺寸及刀柄的拉钉尺寸。

2) 全套的 TSG 工具系统刀柄有数百种,其中有相当部分产品是不带刀具的,这些刀柄相当于过渡的连接杆。它们必须再配置相应的刀具(如立铣刀、钻头、镗刀头和丝锥等)和附件(如钻夹头、弹簧卡头和丝锥夹头等)。因此,用户应根据典型零件的加工要求,确定所需刀柄、刀具及附件的数量。

3) 模块化刀柄、普通刀柄与复合刀柄的选用。选用模块化刀柄,必须按一个小的工具系统来考虑才有意义。与非模块化刀柄相比,使用单个普通刀柄肯定是不合算的。如果机床刀库的容量是 30 把刀,需要配置 100 套普通刀柄;采用模块化刀柄,只需要配置 30 个柄部、50 根左右的连接杆、70 个左右的刀头部分就能满足需要,而且还具有更大的灵活性。但对一些长期反复使用,不需要拼装的简单刀柄,如钻夹头刀柄等,还是配置普通刀柄合算。刀柄的选择与购置机床的其他选择同等的重要,必须认真对待,因为刀柄直接影响机床的使用效率和设备一次性投资的大小。

6. 数控机床选择功能及附件的选择 在选购数控机床时,除了认真考虑它应具备的基本功能外,还应考虑选择功能及附件。现代数控系统都有一些随机程序编制、运动图形显示、人机对话程序编制等功能,这些确实会给快速程序编制带来很大方便。近年来,在保证措施上也发展了许多附件,诸如自动测量装置、接触式测头、红外线测头、刀具磨损和破损检测等。保证其可靠性及实用性是这些附件的选择原则。

1.2 数控机床的工作原理及组成

1.2.1 数控机床的工作原理

1. 数控机床的加工原理 金属切削机床的加工,是操作者依据零件图样的要求,不断改变刀具与工件之间相对运动的参数,即位置与速度,使刀具对工件进行切削加工,最终得到所需要的合格零件。

数控机床的加工,是数控系统按照零件程序的要求,使刀具按最小位移量移动,形成刀具运动轨迹,从而实现刀具与工件的相对运动,完成对零件加工。

刀具沿各坐标轴的相对运动,是以脉冲当量 δ 为位移量单位的 (mm/脉冲)。形成刀具轨迹过程,则是在刀具轨迹曲线的起点和终点坐标之间进行“数据密化”的过程,即插补运动。一般数控装置都具有对基本函数(如直线函数和圆函数)进行插补的功能。

如图 1-1 所示,加工轮廓为任意曲线 L 的零件,可将曲线 L 分成 $\Delta L_0, \Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_i$ 等线段。设切削 ΔL_i 的时间为 Δt_i ,当 $\Delta L_i \rightarrow 0$ 时,即把曲线划分的段足够小、足够

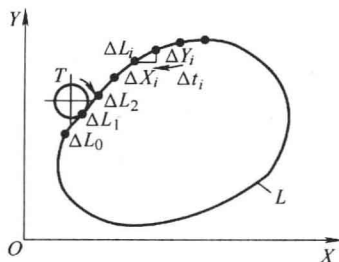


图 1-1 数控机床加工原理