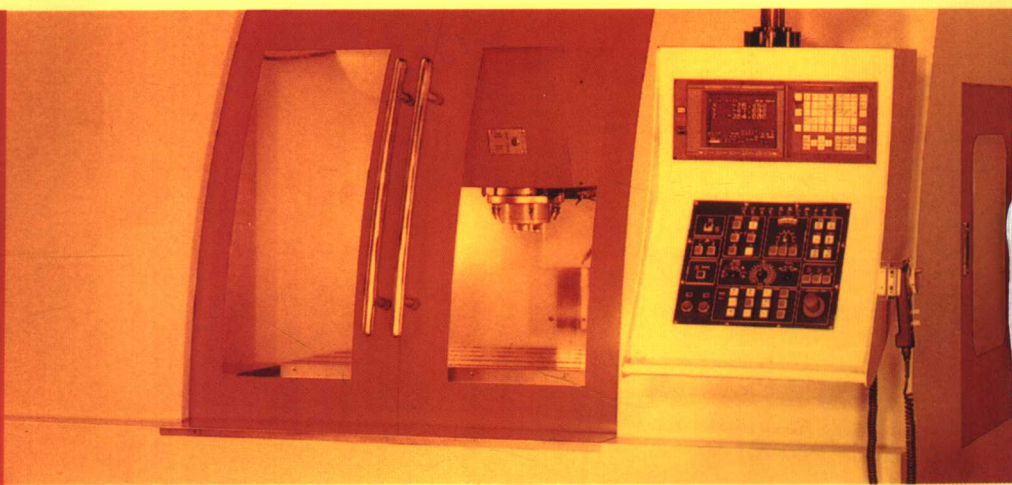




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控机床与编程

主编 方新



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控机床与编程

主 编 方 新
副主编 饶 军 杜家熙
参 编 替 华 周广文 王桂萍 雷保珍
主 审 金福吉 周维泉

高等教育出版社

内容简介

本书系统介绍数控机床与编程的知识,包括绪论,数控机床的主传动系统,数控机床的进给传动系统,数控机床的典型结构,加工程序编制的工艺基础,数控车削编程,数控铣削编程,数控机床的选用、调试与维护共8章。

本书重点介绍数控车床、数控铣床、加工中心三类典型数控机床的结构及其相应加工程序的编制实例;介绍数控加工工艺设计方法与数控加工工艺文件的编写方法。本书同时介绍 FANUC 系统与 SIEMENS 系统;各章的实例是企业成功的加工实例,各章的练习保证足够的工程训练;附录收有机床数值控制词汇的国家标准、数控机床坐标和运动方向命名的行业标准。

本书适合应用性本科机械设计制造及其自动化专业、机械工程及自动化专业的学生使用,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床与编程/方新主编. —北京:高等教育出版社, 2007.5

ISBN 978-7-04-020756-9

I. 数… II. 方… III. 数控机床-程序设计-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 048101 号

策划编辑 卢广 责任编辑 杜惠萍 封面设计 李卫青 责任绘图 朱静
版式设计 余杨 责任校对 金辉 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京汇林印务有限公司

开本 787×1092 1/16
印张 22.75
字数 550 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2007年5月第1版
印次 2007年5月第1次印刷
定价 28.40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

物料号 20756-00

前 言

我国现代制造业的现状急需在本科层次上培养出大批生产一线急需的、具有较强的解决实际问题能力的应用型人才。“数控机床与编程”课程是实践性很强的课程,是机械设计制造及其自动化专业、机械工程及自动化专业的专业课程,此课程应着力培养本科应用型人才数控技术的应用能力,尤其是生产现场处理实际数控问题的能力。

为此,本书在编写中力求做到下列几点:

系统性与实用性相结合。数控机床部分介绍数控车床、数控铣床、加工中心三类典型数控机床的结构,加工程序编制部分介绍数控车床、数控铣床、加工中心相应加工程序的编制实例;增加数控机床的选用、安装与调试、检查验收、使用与维护等内容,以保证数控技术应用的系统性;加工程序编制的工艺基础一章,介绍数控加工工艺设计方法、数控加工工艺文件的编写方法。

数控铣削编程部分同时介绍数控系统市场份额最大的 FANUC、SIEMENS 两种系统,使学生了解两种系统的相同与不同之处,以便掌握两种系统的编程方法。各章的实例是企业成功的加工实例,各章的练习保证足够的工程训练。

将相关国家和行业标准作为附录以方便查阅,并在全书中注重采用国家标准中的词汇,所列举程序也注重其规范性。

由企业的专家做主审。本书由北京机床研究所副总工艺师金福吉(第一届全国数控技能大赛副总统裁判长、2005 年北京市职工数控技能大赛副总统裁判长)、北京夏金字模具科技有限公司总工艺师周维泉(第一届全国数控技能大赛技术工作委员会专家、2005 年北京市职工数控技能大赛数控车床裁判长)两位专家主审。两位专家认真地审阅了全书,提出了大量宝贵的修改意见,有的章节甚至逐字逐句地修改。在工科的应用型本科(特别是技术应用型本科)教育教学改革中,企业标准与教育标准的融合是我们追求的目标,根据两位企业专家意见修改书稿的过程,就是企业标准与教育标准融合的过程,使本书的作者受益匪浅。在此向两位专家表示感谢。

本书由北京联合大学方新教授主编,各章分工如下:第 1 章由方新编写,第 2 章由吉林工程技术师范学院周广文、王桂萍编写,第 3、4 章由北京联合大学饶军编写(第 2、3、4 章由北京联合大学饶军初步统稿),第 5 章由北京联合大学替华编写,第 6 章由北京联合大学雷保珍编写,第 7、8 章由河南科技学院杜家熙编写。

尽管本书作者为达到上述初衷做了很多努力,但由于我们的经验和学识所限,还是会有不足之处,希望致力于工科的应用型本科(特别是技术应用型本科)教育教学改革的同仁不吝赐教,提出宝贵的修改意见。

方新
2006.1

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2.3 主轴轴承的配置形式	27
1.1 数控机床的产生与发展	1	2.2.4 主轴准停装置	28
1.1.1 数控机床的产生	1	2.3 典型数控机床的主轴部件	29
1.1.2 我国数控机床的现状	2	2.3.1 数控车床的主轴部件	29
1.1.3 数控机床的发展趋势	3	2.3.2 数控铣床的主轴部件	32
1.2 数控机床的组成及工作过程	4	2.3.3 加工中心的主轴部件	33
1.2.1 CNC 机床的组成	4	2.4 高速主轴系统和电主轴	35
1.2.2 数控机床的工作过程	6	2.4.1 高速主轴系统	35
1.3 数控机床的特点	7	2.4.2 电主轴的结构	37
1.3.1 数控机床的特点	7	2.4.3 电主轴的轴承	38
1.3.2 CNC 机床的特点	8	本章小结	40
1.4 数控机床的分类	9	练习题	41
1.4.1 按工艺用途分类	9	第 3 章 数控机床的进给传动系统	42
1.4.2 按运动方式分类	9	3.1 对进给传动系统的基本要求	42
1.4.3 按控制方式分类	11	3.2 数控机床进给传动系统的基本形式	43
1.4.4 按功能水平分类	13	3.2.1 滚珠丝杠副	43
1.5 数控机床坐标系	14	3.2.2 静压丝杠副	50
1.5.1 机床坐标系	14	3.2.3 静压蜗杆-蜗轮条副	52
1.5.2 工件坐标系	14	3.2.4 双齿轮-齿条副	53
1.6 数控机床的主要性能指标	15	3.2.5 直线电动机直接驱动	54
1.6.1 运动性能指标	15	3.3 进给传动系统齿轮传动间隙消除方法	56
1.6.2 精度指标	15	3.3.1 刚性调整法	56
1.6.3 可控轴数与联动轴数	16	3.3.2 柔性调整法	57
本章小结	16	3.4 典型数控机床的进给传动系统	60
练习题	17	3.4.1 MJ-50 型数控车床的进给传动系统	60
第 2 章 数控机床的主传动系统	18	3.4.2 JCS-018A 型立式加工中心的进给传动系统	63
2.1 对主传动系统的基本要求和变速方式	18	本章小结	64
2.1.1 对主传动系统的基本要求	18	练习题	64
2.1.2 主传动的变速方式	19	第 4 章 数控机床的典型结构	65
2.2 数控机床的主轴部件	24	4.1 数控机床机械结构的组成、特点及	
2.2.1 主轴端部结构	24		
2.2.2 主轴轴承	24		

要求	65	5.4.4 平面轮廓基点坐标计算	144
4.1.1 数控机床机械结构的主要组成	65	5.5 数控加工工艺文件的编写	147
4.1.2 数控机床机械结构的主要特点	66	5.5.1 数控加工工艺文件的格式	147
4.1.3 数控机床对机械结构的基本要求	67	5.5.2 数控加工工艺文件的编写要求	153
4.2 数控机床的整体布局	75	5.5.3 典型零件数控铣床加工工艺分析 实例	153
4.2.1 数控车床常见布局形式	76	5.6 自动编程简介	156
4.2.2 加工中心常见布局形式	76	5.6.1 自动编程的概念	156
4.2.3 高速数控机床的布局形式	78	5.6.2 CAD/CAM 集成系统的自动编程 简介	157
4.2.4 并联运动机床的布局形式	79	5.6.3 CAD/CAM 集成系统软件介绍	159
4.3 数控机床的导轨	79	5.7 高速切削技术	161
4.3.1 数控机床对导轨的基本要求	80	5.7.1 高速切削技术概述	161
4.3.2 数控机床导轨的种类与特点	80	5.7.2 高速切削的优势	161
4.3.3 塑料滑动导轨	82	5.7.3 高速切削实现的条件和要求	162
4.3.4 滚动导轨	84	5.7.4 高速切削工艺规划	164
4.3.5 静压导轨	87	本章小结	164
4.3.6 导轨的润滑与防护	88	练习题	165
4.4 数控机床的自动换刀装置	89	第6章 数控车削编程	166
4.4.1 自动换刀装置的类型	89	6.1 数控车削编程特点及坐标系	166
4.4.2 刀库的类型与容量	95	6.1.1 数控车削编程特点	166
4.4.3 换刀时的自动选刀	97	6.1.2 数控车床的原点与参考点	167
4.4.4 自动换刀实例	101	6.1.3 坐标系	167
4.5 数控机床的回转工作台	106	6.1.4 预置工件坐标系	172
4.5.1 分度工作台	106	6.2 数控车削工艺	172
4.5.2 数控回转工作台	110	6.2.1 走刀路线的确定	172
本章小结	112	6.2.2 夹具和刀具的选择	175
练习题	112	6.2.3 切削用量的选择	177
第5章 加工程序编制的工艺基础	113	6.3 数控车削编程	179
5.1 概述	113	6.3.1 基本编程方法	179
5.2 手工零件编程的基础知识	114	6.3.2 固定循环功能	185
5.2.1 加工程序编制的基本概念	114	6.3.3 螺纹加工	192
5.2.2 手工编程的方法及步骤	116	6.3.4 刀具补偿功能与编程	197
5.2.3 加工程序的结构与格式	117	6.4 数控车削编程综合实例	201
5.2.4 加工程序指令代码	121	6.4.1 综合实例一	201
5.3 数控加工工艺设计	126	6.4.2 综合实例二	203
5.3.1 数控加工工艺分析	127	本章小结	206
5.3.2 数控加工工艺的设计	131	练习题	206
5.4 手工编程中的数值计算	142	第7章 数控铣削编程	209
5.4.1 基点与节点坐标的计算	142	7.1 数控铣削编程特点及坐标系	209
5.4.2 刀具中心轨迹的计算	143		
5.4.3 手工编程的辅助计算	143		

7.1.1 数控铣削编程特点	209	8.1.4 数控系统的选择	297
7.1.2 坐标系与原点	212	8.1.5 自动换刀装置的选择及刀柄的 配置	298
7.2 数控铣削工艺	213	8.1.6 数控机床可选功能及附件的选择	300
7.2.1 选择并确定数控铣削部位及工序 内容	213	8.1.7 购置数控机床时应注意的其他 问题	300
7.2.2 零件图工艺性分析	213	8.2 数控机床的安装	301
7.2.3 走刀路线的确定	215	8.2.1 数控机床初就位	301
7.2.4 铣削刀具的选择	218	8.2.2 数控机床部件的连接	301
7.2.5 切削用量的选择	224	8.2.3 数控系统的连接与调整	301
7.3 数控铣削编程方法	226	8.3 数控机床的调试	304
7.3.1 基本编程方法	226	8.3.1 通电试车	304
7.3.2 固定循环功能	247	8.3.2 数控机床精度和功能的调试	305
7.4 数控铣削编程实例	264	8.3.3 试运行	305
7.4.1 实例 17	264	8.4 数控机床的检查与验收	306
7.4.2 实例 18	268	8.4.1 数控机床外观的检查	306
7.5 加工中心用加工程序编制	270	8.4.2 数控机床几何精度的检查	307
7.5.1 加工中心特点与加工对象	270	8.4.3 数控机床定位精度的检查	308
7.5.2 加工中心用加工程序编制要点	272	8.4.4 数控机床切削精度的检查	311
7.6 加工中心用加工程序编制实例	273	8.4.5 数控机床性能及数控功能检查	313
7.6.1 工艺分析	273	8.5 数控机床的使用与维护	315
7.6.2 确定夹具、选用刀具	274	8.5.1 数控机床的使用要点	315
7.6.3 确定编程原点、对刀位置及对刀 方法	274	8.5.2 数控机床维修的基本概念	318
7.6.4 确定加工路线	275	8.5.3 数控机床的维护和保养	319
7.6.5 确定加工所用各种工艺参数	277	8.5.4 数控机床故障诊断的一般方法	323
7.6.6 数值计算	277	本章小结	330
7.6.7 编制程序	277	练习题	330
7.6.8 程序检验	277	附录	333
7.6.9 编程实例	278	附录一 中华人民共和国国家标准 工业自 动化系统 机床数值控制 词汇	333
本章小结	287	附录二 中华人民共和国机械行业标准 数控机床 坐标和运动方向的 命名	344
练习题	287	参考文献	354
第 8 章 数控机床的选用、调试与维护	295		
8.1 数控机床的选用	295		
8.1.1 根据典型工件选用数控机床	295		
8.1.2 数控机床规格的选择	295		
8.1.3 数控机床精度的选择	296		

◆本章介绍数控机床的产生和发展、数控机床的组成及工作过程、数控机床的特点、数控机床的分类、数控机床坐标系以及数控机床的主要性能指标,旨在给出关于数控机床整体的宏观概念。

1.1 数控机床的产生与发展

新的机械加工装备都是应更高的制造工艺需求而产生的,或者说机械加工装备对促进制造技术的发展起着重要的作用。数控机床就是为了实现复杂零件的自动化加工而产生的。同时数控机床也随着制造技术发展的要求而发展。

1.1.1 数控机床的产生

1948年,美国帕森公司(Parsons Company)接受美国空军委托,研制直升机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样,精度要求高,一般加工设备难以适应,于是提出计算机控制机床的设想。1949年,该公司与美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)伺服机构研究所合作,开始数控机床的研究,并于1952年试制成功世界上第一台由大型立式仿形铣床改装而成的、用专用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。

数控机床的产生,不仅为复杂零件的加工提供了方便,而且加工精度高,尺寸一致性好,生产效率高,能够大大减轻工人的劳动强度,使机械制造业从刚性自动化时代进入了柔性自动化时代,因而很快受到了人们的关注。世界各国竞相投入大量的人力、物力进行研究,使数控机床得到了迅速的发展。继数控铣床、数控车床、数控钻床等单工序加工类机床之后,1959年,克耐-杜列克公司(Keaney & Trecker Company)开发出了装有自动换刀装置、能够一次装夹、多工序加工的加工中心。1967年,英国首先把几台数控机床连接成具有一定柔性的加工系统,即柔性制造系统(flexible manufacture system, FMS)。20世纪80年代初,国际上又出现了以数台加工中心

为主体,再配上工件自动装卸和监控检验装置而构成的柔性制造单元(flexible manufacture cell, FMC)。20世纪80年代末90年代初,计算机集成制造系统(computer integrated manufacture system, CIMS)已经逐渐投入使用,并呈现出迅猛的发展态势。几十年来,数控机床无论在品种、数量还是在功能上都取得了长足的进展,为机械制造业注入了新的生机和活力。

数控机床的数控系统已发展到以微处理机为核心的第五代,前三代均属于硬件数控,第四代是应用小型计算机的数控系统。

1.1.2 我国数控机床的现状

我国从1958年开始研究数控机床,于1966年研制成功晶体管数控系统,并生产出了数控线切割机、数控铣床等产品。由于受当时条件的限制,数控系统的稳定性及可靠性较差,数控机床品种不全,数量较少,数控机床的发展处于初级阶段。

20世纪80年代初期,我国先后从德国、日本、美国等国家引进了一些数控系统和伺服技术,在一定程度上促进了数控机床的发展。改革开放为数控机床的发展奠定了物质基础。此时,我国研制的数控机床性能逐步提高,品种和数量不断增加。到1985年,我国已经拥有加工中心、数控铣床、数控磨床等80多个品种的数控机床,数控机床的发展进入了实用阶段。

20世纪90年代以后,我国逐渐由计划经济转向市场经济,国民经济进入高速发展阶段,研究开发数控系统、应用数控机床已经成了各企业的自发行为,数控机床的发展速度逐年加快,多轴、全功能中高档数控系统及交、直流伺服系统相继研制成功,FMS和CIMS也先后投入使用,数控机床的发展进入了快速阶段。

随着“九五”数控车床和加工中心(包括数控铣床)的产业化生产基地的形成,我国生产的中档普及型数控机床的功能、性能和可靠性方面已具有较强的市场竞争力。但在中、高档数控机床方面,与国外一些先进产品相比,仍存在较大差距。这是由于欧、美、日等先进工业国家于20世纪80年代先后完成了数控机床产业进程,其中一些著名机床公司致力于科技创新和新产品的研发,引导着数控机床技术发展,如美国英格索尔公司和德国惠勒喜乐公司对用于汽车工业和航空工业高速数控铣床的发展、日本牧野公司对高效精密加工中心所做的贡献、德国瓦德里希公司在重型龙门五面加工铣床方面的开发,以及日本马扎克公司研发的车铣中心对高效复合加工的推进等。相比之下,我国大部分数控机床产品在技术上还处于跟踪阶段。表1-1以40号刀柄的中型加工中心为例,列出国内外先进产品主要技术指标,由此可以看到效率、精度和可靠性等方面均有明显差距。

表1-1 中型加工中心主要技术指标对比

项目	国内	国外
主轴最高转速/(r/min)	6 000 ~ 12 000	10 000 ~ 40 000
快移速度/(m/min)	24 ~ 30	60 ~ 90
金属切除率(45钢)/(cm ³ /min)	200 ~ 300	400 ~ 600
定位精度/mm(全行程)	0.01 ~ 0.016	0.004 ~ 0.006
重复定位精度/mm	0.005 ~ 0.008	0.002 ~ 0.003
平均无故障运行时间 MTBF/h	500 ~ 600	> 1 000

1.1.3 数控机床的发展趋势

以数字化为特征的数控机床是柔性化制造系统和敏捷化制造系统的基础装备,其总的发展趋势是高精度、高速化、高效化、柔性化、智能化和集成化,并注重工艺适用性和经济性。具体可归纳为下列八个方面:

1. 持续地提高经济加工精度

1950—2000年的50年内加工精度提升100倍左右,即加工精度平均每8年提高1倍,当前的普通加工精度已达到20世纪50年代的精密加工水平。

以加工中心加工典型件的尺寸精度和形位精度为例对比国内外的水平,国内大致为0.008~0.010 mm,而国际先进水平为0.002~0.003 mm,按上述统计规律分析差距为15年左右。

2. 推进全面高速化实现高效制造

在刀具材料和刀具结构不断发展的支持下,切削速度也不断地提高。在实际生产中,车、铣45钢的切削速度由1950年的80~100 m/min,到2000年普遍达到的500~600 m/min,50年内切削速度提高了5倍多。高速化加工另一个特点是大多从单一的高速切削发展至全面高速化,不仅要缩短切削时间,也要力求降低辅助时间和技术准备时间。

3. 复合机床促进新一代高效机床的形成

复合机床的含义是在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的全部加工。复合机床根据其结构特点,可以分为工艺复合型和工序复合型两类。

工艺复合型机床为跨加工类别的复合机床,包括不同加工方法和工艺的复合,如车铣中心、铣车中心、激光铣削加工机床、冲压与激光切割复合、金属烧结与镜面切削复合等。

工序复合型机床应用刀具(铣头)自动交换装置、主轴立卧转换头、双摆铣头、多主轴头和多回转刀架等配置,增加工件在一次安装下的加工工序数,如多面多轴联动加工的复合机床和主副双主轴车削中心等。

复合数控机床具有良好的工艺适用性,避免了在制品的储存和传输等环节,有力地支持了准时制造(just in time, JIT),因此对它的研发已经给予了极大的关注。

4. 工艺适用性的专门化数控机床正不断涌现

通过对机床布局和创新,使对不同类型的零件加工具有最佳的适用性,避免一方面出现不能发挥最佳性能,另一方面又存在功能冗余的现象。

要解决品种多样化与经济性的矛盾,就要对机床的模块化设计提出更高的要求。近年来对并联机构机床和混联机构机床的研究以及对可重组机床(reconfigurable machine tools, RMT)技术的探索,反映了对制造装备能更方便地实现个性化、多样化发展的追求。

5. 智能化和集成化成为数字化制造的重要支撑技术

信息技术的发展及其与传统机床的相融合,使机床朝着数字化、集成化和智能化的方向发展。数字化制造装备、数字化生产线、数字化工厂的应用空间将越来越大,而采用智能技术来实现多信息融合下的重组优化的智能决策、过程适应控制、误差补偿智能控制、复杂曲面加工运动轨迹优化控制、故障自诊断和智能维护以及信息集成等功能,将大大提升成形和加工精度,提高制造效率。

6. 发展适应敏捷制造和网络化分布式的制造系统

回顾近 10 年来制造系统的发展历程,基本上遵循以下两个方向:① 增强制造系统的智能化和自治管理功能,以提高 FMC/FMS 的快速响应能力;② 发展兼顾柔性、高效、低成本和高质量且便于重组的新型制造系统,以适应不确定性的市场环境。

这类制造系统称为快速重组制造系统 (rapidly reconfigurable manufacturing system, RRMS) 或可重组制造系统 (reconfigurable manufacturing system, RMS)。其原理为通过对制造系统中的设备配置的调整或更换设备上的功能模块来迅速构成适应新产品生产的制造系统。这就要求设备和系统不仅软件具有开放性,而且硬件也要有开放性,成为功能可重组的机床,即前面提到的可重组机床。

7. 向大型化和微小化两极发展

能源装备的大型化及航空航天事业等的发展,需要重型立式、卧式加工中心和铣车中心。

超精密加工技术和微纳米技术是 21 世纪的战略高技术,正在形成一个产业。需发展能适应微小型尺寸结构和微纳米加工精度的新型制造工艺和装备。

航空航天、信息技术和国防高新技术的需求推进了超精加工技术及设备的发展。20 世纪 60 年代,美国开发出第一台商品化超精密机床,其加工尺寸精度为 $\pm 0.8 \mu\text{m}$,70 年代英国克兰菲尔德精密工程研究所批量生产的超精密车床加工的形状精度优于 $0.1 \mu\text{m}$,80 年代美国 LLL 实验室和 Y-12 工厂合作生产的大型超精密金刚石车床的加工平面形状精度达 $0.0125 \mu\text{m}$,最大加工直径为 2100 mm 。因此,加工技术总的发展趋势是加工精度不断提高,加工尺寸不断增加,加工方法多样化。由于晶片和光学镜片等硬脆材料加工的需要,超精密磨削和研抛以及非机械能的特种加工方法使加工精度可优于 $0.005 \mu\text{m}$ 。

8. 配套装置和功能部件的品种质量日臻完善

不仅数控系统(含数控装置和伺服驱动装置)有专业化生产厂,凡关键的通用性功能部件如电主轴、刀具自动交换系统、滚动导轨副、直线滚动丝杠副、双摆主轴头、双摆回转台和自动转位刀塔等在国外均有一些著名的专业化生产厂,这对保证产品质量,增加整机的可靠性和降低成本起着重要的作用。

完善的、高集成度的专用电路系统的研发,仍是数控系统可靠性继续增长和结构小型化的一项重要措施。

1.2 数控机床的组成及工作过程

数控机床已由硬件数控机床(即采用硬件数控系统)发展到了 CNC 机床(computer numerical control machine tool),故本节仅介绍 CNC 机床。

1.2.1 CNC 机床的组成

CNC 机床是带有嵌入式计算机的数控机床。硬件数控机床的控制功能是由其控制系统内的电气元件功能决定的。而 CNC 机床的控制功能是在制造数控系统时通过程序代码形式存入计算机,在 CNC 机床关机时,存在只读存储器(ROM)中。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、机电接口五大部分组成。

图 1-1 所示是一台三坐标数控铣床的组成图,它是由 X、Y、Z 三个坐标来实现刀具和工件

间的相对运动的立式数控铣床。从图中可以看出包括信息输入、运算控制(数控装置)、伺服驱动及检测反馈、机床本体、机电接口等部分。

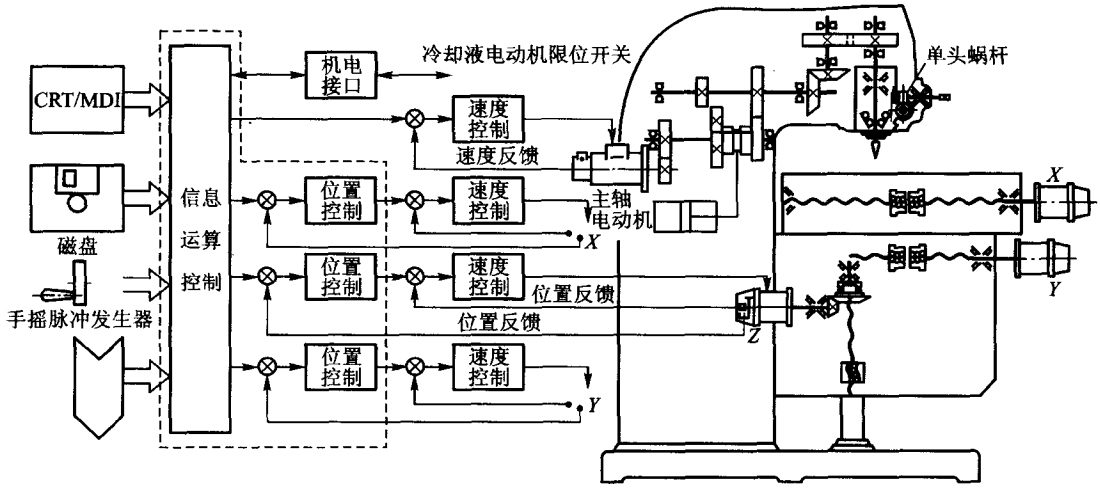


图 1-1 数控机床的组成

1. 信息输入

这一部分是数控机床的信息输入通道,加工零件的程序和各种参数、数据通过输入设备送进数控装置。早期的输入方式为穿孔纸带、磁带,目前较多采用磁盘;在生产现场,特别是一些简单的零件程序都采用按键、配合显示器(CRT)的手动数据输入(MDI)方式;手摇脉冲发生器输入多用于调整机床和对刀时使用;通过通信接口,可由上位机输入。

2. 数控装置

数控装置是由中央处理单元(CPU)、存储器、总线、输入输出接口和相应的软件构成的专用计算机,它接收到输入信息后,经过译码、轨迹计算(速度计算)、插补运算和补偿计算,再给各个坐标的伺服驱动系统分配速度、位移指令。这一部分是数控机床的核心,整个数控机床的功能强弱主要由这一部分决定。它具备的主要功能如下:

- 1) 多轴联动、多坐标控制。
- 2) 实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线、螺旋线、极坐标、样条等)。
- 3) 多种程序输入功能(人机对话、手动数据输入、由上级计算机及其他输入设备的程序输入)以及编辑和修改功能。
- 4) 信息转换功能:包括 EIA/ISO 代码转换,米制/英制转换、坐标转换、绝对值/增量值转换等。
- 5) 补偿功能:刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等。
- 6) 多种加工方式选择:可以实现各种加工循环、重复加工、凹凸模加工和镜像加工等。
- 7) 故障自诊断功能。
- 8) 显示功能:用 CRT 可以显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形。
- 9) 通信和联网功能。

3. 伺服驱动装置及检测反馈装置

伺服驱动装置又称为伺服系统,它接受计算机运算处理后分配来的信号。该信号经过调节、转换、放大以后去驱动伺服电机,带动机床的执行部件运动,并且随时检测伺服电机或工作台的实际运动情况,进行严格的速度和位置反馈控制。数控机床的伺服驱动装置分为主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(包括速度控制和位置控制)、回转工作台和刀库伺服控制装置以及它们相应的伺服电机等。伺服系统分为直流伺服系统和交流伺服系统,而交流伺服系统正在取代直流伺服系统,以步进电机驱动的伺服系统在某些具体场合仍可采用,直线电动机系统是适应高速、高精度的一种伺服机构。在伺服系统中还包括安装在伺服电机上(或机床的执行部件上)的速度、位移检测元件及相应电路,该部分能及时将信息反馈回来,构成闭环控制(交流数字闭环控制中还包括电流检测反馈)。常用检测装置有测速发电机、旋转变压器、脉冲编码器、感应同步器、光栅、磁电转速传感器、霍尔传感器等组成的系统。一般来说,数控机床的伺服驱动系统,要求具有很好的快速响应性能,以及能够灵敏而准确地跟踪指令的功能。所以,伺服驱动及检测反馈是数控机床的关键环节。

4. 机床本体

机床本体包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如底座、立柱、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等。数控机床与普通机床不同,它的主运动和各个坐标轴的进给运动都由单独的伺服电机(无级变速)驱动,所以它的传动链短、结构比较简单。普通机床上各个传动链之间有复杂的齿轮联系,在数控机床上改由计算机来协调控制各个坐标轴之间的运动关系。为了保证数控机床的快速响应特性,在数控机床上普遍采用精密滚珠丝杠、直线滚动导轨副、摩擦特性良好的滑动(贴塑)导轨副。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工,机床的机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能。在加工中心上还具备有刀库和自动交换刀具的机械手。同时,还有一些良好的配套设施,如冷却、自动排屑、防护、可靠的润滑、对刀仪等,以利于充分发挥数控机床的功能。

5. 机电接口

数控机床除了实现加工零件轮廓轨迹的数字控制外,还有许多其他的控制,如主轴的启动、停止,自动换刀,冷却液的开、关,工件的夹紧、松开,各种辅助交流电动机的启动、停止,电磁铁的吸合、释放,离合器的开、合,电磁铁的通、断,电磁阀的打开与关闭等。这些逻辑开关量的动力来源是由电源变压器、控制变压器、各种断路器、保护开关、接触器、功率断路器及熔断器等组成的强电线路提供的,而这种强电线路不能与低压下工作的控制电路或弱电线路直接连接,只能通过断路器、热动开关、中间继电器等转换成直流低压下工作的触点的开、合(关)工作,成为继电器逻辑电路或可编程序控制器(PLC)可接收的信号。

以上这些都是属于数控装置和机床之间的接口问题,统称为机电接口。解决这些问题,首先要知道机床上有哪些动作,其次是这些动作的先后顺序以及它们之间的逻辑(联锁、互锁等)关系等。

1.2.2 数控机床的工作过程

数控机床是用数字信息进行控制的机床。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(如磁带、磁盘、光盘和半导体存储器等)或 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。其基本过程如图 1-2 所示。

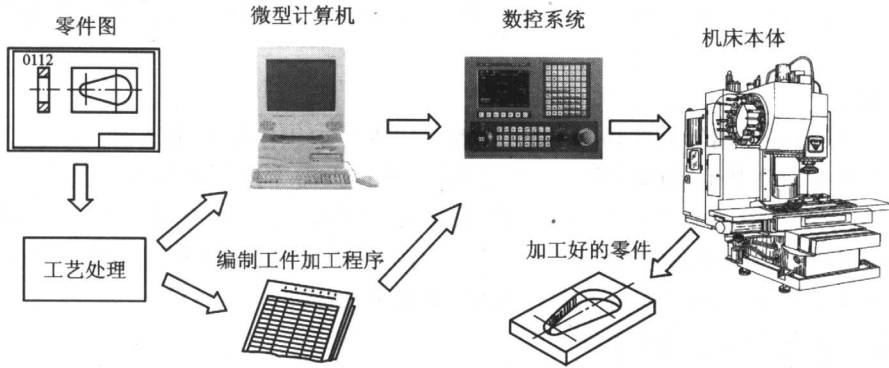


图 1-2 数控加工过程示意图

在加工前要分析零件图,拟定零件加工工艺方案,明确加工工艺参数,然后按编程规则编制数控加工程序,通过 MDI 键盘将程序输入到机床的数控系统中,经检查无误即可启动机床,运行数控加工程序。数控装置会按照数控加工程序发出的各种控制指令自动进行加工,如果不出现故障,直到加工程序运行结束,零件加工完毕为止,或者在进行工艺处理后,用 CAM 软件在微机上进行几何造型,并自动生成数控加工程序,通过通信接口输入到机床的数控系统中,实现工件的自动化加工。

1.3 数控机床的特点

数控机床是由普通机床发展演变而来,与普通机床相比,数控机床具有其特点。类似地,CNC 机床与硬件 NC 机床相比,也具有其特点。

1.3.1 数控机床的特点

1. 自动化程度高

数控机床集中了机、电、数控、气、液等综合技术,从最初的单台数控机床发展到目前的单机多轴、柔性加工单元、柔性制造系统。自动运行控制形式,从最初单一纸带方式发展到目前的多种方式,包括分布式数字控制(DNC)和远程控制方式,并且可以实现多种形式的自动上下料,加工过程能对工件和刀具进行监控和测量,并能有效地补偿和修正,排屑冷却都实现了自动化。

2. 适应性强

适应性是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。由于市场对产品的需求逐渐趋于多样化,实现单件、小批量产品的生产自动化是制造业的当务之急。当产品改变时,对数控机床来说,仅仅需要改变数控机床的输入程序就能适应新产品的生产需要,而不需要改变机械部分和控制部分的硬件,而且生产过程是自动完成的。因此,用数控机床生产,准备周期短、灵活性强,

为多品种小批量生产和新产品的研制提供了方便条件。

3. 精度高

数控机床是按照预定程序自动工作的,工作过程一般不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造设备时,通常采取了许多措施,使数控机床达到较高的精度。数控装置的脉冲当量目前可达 $0.01 \sim 0.0001 \text{ mm}$,同时可以通过实时检测误差修正或补偿来获得更高的精度。

4. 效率高

由于数控机床可采用较大的切削用量,有效地减少了加工中的切削工时。数控机床还具有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,并且无需工序间的检验与测量,使辅助时间大为缩短。对于多功能的加工中心,在一次装夹后几乎可以完成零件的全部加工,这样不仅可减少装夹误差,还可减少半成品的周转时间。因此,与普通机床相比,数控机床生产效率高出许多倍,对于复杂型面的加工,生产效率可提高几倍,甚至十几倍。

5. 减轻劳动强度、改善劳动条件

利用数控机床进行加工,只要按图纸要求编制零件的加工程序单,然后输入并调试程序,安装坯件进行加工,监督加工过程并装卸零件。这样大大减轻了操作者的劳动强度和紧张程度,劳动条件也得到了相应的改善。

6. 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件,能准确地计算产品生产的工时,并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作;采用数控信息的标准代码输入,这样有利于与计算机连接,构成由计算机控制和管理的生产系统,实现制造和生产管理的现代化。

更能显示数控机床优越性的零件有小批量而又重复生产的零件;几何形状复杂的零件;在加工过程中必须进行多种工序加工的零件;必须严格控制公差(即公差带范围很小)的零件;工艺设计会经常变化的零件;加工过程中的错误会造成严重浪费的贵重零件;需全部检测的零件等。

1.3.2 CNC 机床的特点

1. 柔性好

硬件 NC 机床的控制功能是靠硬件电路来实现的。若要改变系统的加工控制功能,必须重新布线。CNC 机床可以通过软件的编制灵活地改变或增加数控系统的功能,具有较大的灵活性。

2. 功能强

CNC 机床利用了计算机的高度计算处理能力,实现许多复杂的数控功能,如二次曲线插补运算、多轴联动、固定循环加工、坐标偏移、图形显示、刀具补偿等,使刀具在三维空间中能实现任意轨迹,完成复杂型面的加工过程。硬件 NC 机床的 NC 装置只能进行简单的直线、圆弧插补计算,完成直线、圆弧的加工。

3. 通用性好

CNC 机床可以编制不同的软件来满足各种机床的不同加工要求,这样可以用同一种 CNC 装置满足多种数控机床的要求,体现出了较强的通用性。而硬件 NC 机床的功能和种类不同,NC 装置就不同,不能通用。

4. 可靠性高

硬件 NC 机床的零件程序存储容量很小,较复杂零件程序就需要分段读入、分段加工,因而容易出现差错。CNC 机床零件程序的存储容量大,非常复杂的零件程序也可以一次输入存储器。CNC 机床还易于设立各种诊断程序,能进行故障预检和自动查找,便于维修和减少停机时间。

5. 易于实现机电一体化

CNC 机床采用大规模集成电路和先进的印制电路板技术,利用数块印制电路板即可构成整个控制系统,使其硬件结构尺寸大大缩小,可以与机床结合在一起,减少占地面积,实现机电一体化。

1.4 数控机床的分类

随着数控技术的发展,数控机床出现了许多分类方法,通常按以下 4 个方面进行分类。

1.4.1 按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

这类机床和传统的通用机床品种一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。加工中心是一种带有自动换刀装置(刀库和自动交换刀具的机械手),能进行铣削、钻削、镗削加工的复合型数控机床。特别是箱体类零件,在加工中心上一次定位装夹后,即能在多个侧面上完成铣削、钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻螺纹等工作,所以在生产上的应用越来越多。加工中心还分为车削中心、磨削中心等。而且,还出现了在加工中心上增加交换工作台以及采用主轴或工作台进行立、卧转换的五面体加工中心等。

2. 金属成形类及特种加工类数控机床

这是指金属切削类以外的数控机床,如数控弯管机、数控线切割机床、数控电火花成形机床、数控激光切割机床、数控冲床、数控火焰切割机、数控三坐标测量机等。

1.4.2 按运动方式分类

1. 定位控制数控机床

对于一些加工孔用的数控机床,如数控钻床、数控镗床、数控冲床、数控点焊机、印制电路板钻床等。它们只要求获得精确的孔系坐标定位精度,在运动和定位过程中不进行任何加工工序。数控系统只需要控制行程的起点和终点的坐标值,而不控制运动部件的运动轨迹,因为运动轨迹不影响最终的定位精度。具有这种运动控制的机床称为定位控制数控机床。定位控制的数控机床加工的都是平面内的孔系(图 1-3),它控制平面内的两个坐标轴带动刀具与工件作相对运动,运动停止后,控制刀具进行钻、镗切削加工。为了尽可能减少运动部件的运动、定位时间和确保精确的定位精度,首先系统控制进给部件高速运行,接近目标点时,采用分级或连续降速,低速趋近目标点,从而减少运动部件的惯性过冲和因此而引起的定位误差。

2. 直线运动控制数控机床

直线运动控制数控机床是指控制机床工作台或刀具(刀架)以要求的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工或控制两个坐标轴实现斜线移动和切削加工的机床,如

图 1-4 所示。如数控车床、某些数控镗铣床和加工中心等,都具有直线运动控制功能。这一类数控机床不仅要求具有准确的定位功能,而且还要控制位移的速度。由于在移动过程中进行切削加工,所以对于不同的刀具和工件,需要选用不同的切削用量。一般情况下这些数控机床有两个到三个可控制的轴,但只能同时控制一个轴。为了能在刀具磨损或更换刀具后,仍可加工出合格的零件,这类机床的数控系统常常要求它具有刀具半径和刀具长度补偿功能,以及主轴转速的控制功能等。

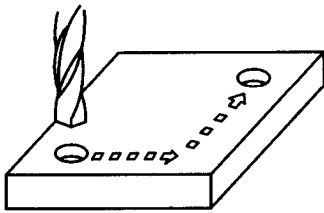


图 1-3 定位控制数控机床加工示意图

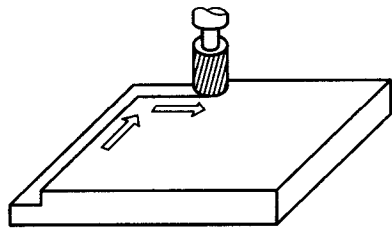


图 1-4 直线运动控制数控机床加工示意图

现代组合机床采用数控技术,驱动各种动力头、多轴箱轴向进给进行钻、镗、铣等加工,也算是一种直线运动控制数控机床。直线运动控制也称为单轴数控。

3. 轮廓控制的数控机床

可以加工斜线、曲线、曲面的数控机床,如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控切割机床和加工中心等,它们都是具有同时控制两个或两个以上坐标进行联动(即进行插补)的数控机床。该类机床在加工过程中,每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格的不断的控制,故称具有这种控制功能的机床为轮廓控制数控机床。现代数控机床绝大部分都具有两坐标或两坐标以上联动控制、刀具半径补偿、刀具长度补偿、机床轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿侧间隙误差补偿等一系列功能。

按照可联动(同时控制)轴数,可以分为两轴联动控制、两轴半联动控制、三轴联动控制、四轴联动控制、五轴联动控制等。

在数控车床上采用两轴联动控制,可以加工手把类零件,如图 1-5a 所示。在数控铣床上采用两轴联动控制,可以加工平面凸轮的轮廓曲线,如图 1-5b 所示。在三轴数控铣床上加工圆锥台零件,一般都是两坐标(X, Y)联动加工一圈,再沿另一坐标 Z 提升一个高度 ΔZ ,如此继续下去,即可加工出一个锥台,如图 1-5c 所示,因为这里的 Z 坐标没有参加联动,故一般称这种情况为 2.5 个坐标(两个半坐标)。此外,属 2.5 坐标控制的加工,还有如:用“行切法”加工空间轮廓,如图 1-5d 所示,一般以 X, Y, Z 三坐标轴中任意两轴作插补运动,第三轴作周期性进给来实现加工控制。当采用球头刀加工时,只要 $\Delta Z(\Delta Y)$ 足够小时,加工表面的表面粗糙度足以满足要求。在三坐标联动控制的数控铣床上,可以在锥体上加工出螺旋线,如图 1-5e 所示。当然,也可以加工出内循环滚珠丝杠螺母回珠器的回珠槽(空间曲线),如图 1-5f 所示。在四轴联动的数控机床加工飞机大梁零件,如图 1-5g 所示,除了三个移动坐标(X, Y, Z)外,还需要一个绕 X 轴回转(也称摆动)的坐标 A ,方能保证刀具与工件型面在全长上始终贴合,显然在加工中需要每时每刻的 X, Y, Z, A 坐标值,这当然是很复杂的。图 1-5h 所示是五轴联动控制加工的实例,显然这时联动的坐标除 X, Y, Z 三个直线坐标以外,还有工件的回转 C 和刀具的摆动 B 。