

普通高等学校机械工程“十三五”规划教材

机床数控技术

JICHUANG SHUKONG JISHU

吴艳花 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

非外借

普通高等学校机械工程“十三五”规划教材

机床数控技术

吴艳花 主 编
杜毓瑾 范 敏 副主编
王中任 主 审

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书以数控机床的工作过程为主线,先后阐述了数控机床的基本概念、数控加工程序编制、数控插补技术、计算机数控系统、数控机床的位置检测装置、数控机床的伺服驱动系统、数控机床的机械结构等内容。

本书内容的编写符合知识理解的逻辑性,各章内容既相互联系,又相对独立成体系;强化基础知识,理论涉及不深且联系实践,重点突出。

本书适合应用型本科院校机电类专业师生使用,也适合高职高专机电类专业使用,亦可供从事机床数控技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/吴艳花主编. —北京:中国铁道出版社,2017.8

普通高等学校机械工程“十三五”规划教材

ISBN 978-7-113-23416-4

I. ①机… II. ①吴… III. ①数控机床-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 171141 号

书 名:机床数控技术

作 者:吴艳花 主编

策 划:曾露平

读者热线:(010)63550836

责任编辑:曾露平 包 宁

封面设计:刘 颖

责任校对:张玉华

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com/51eds/>

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

版 次:2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:10.75 字数:258 千

印 数:1~1 500 册

书 号:ISBN 978-7-113-23416-4

定 价:29.80 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

前 言

数控机床是机床制造业重要的基础装备,因此它的发展一直备受人们关注。近年来,我国机床制造业既面临着制造装备发展的良机,也遭遇到市场竞争的压力。从技术层面来讲,加速推进数控技术将是解决机床制造业持续发展的关键之一。为适应这种形势,2013年1月开始,我们组织了精品课程“机床数控技术”课程建设小组,先后到多所高校进行调研,确定了《机床数控技术》的教材体系,从教育目标及知识、能力和素质要求出发,按照教学方案进行编写,以提高读者对数控技术的理解能力。

本书内容以数控机床的工作过程为主线,先后阐述了数控机床的基本概念、数控加工程序编制、数控插补技术、计算机数控系统、数控机床的位置检测装置、数控机床的伺服驱动系统、数控机床的机械结构等内容。

本书内容丰富,文字简练,图文并茂,适合应用型本科院校机械设计制造及其自动化、机电一体化专业师生使用,也可供高职高专相关专业使用,对有关技术人员亦有参考价值。

本书由吴艳花任主编,杜毓瑾、范敏任副主编。具体编写分工如下:湖北文理学院吴艳花编写第1章、第2章、第3章、第5章、第6章、第7章;湖北文理学院杜毓瑾编写第4章;襄阳职业技术学院范敏编写第8章。全书由吴艳花负责统稿和定稿。全书由湖北文理学院王中任教授主审。

限于编者水平和经验,书中出现疏漏或不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年6月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 数控机床的产生和发展	1
1.2 数控机床的组成和特点	3
1.3 数控机床的分类	6
复习思考题	10
第2章 数控加工程序编制	11
2.1 数控程序编制基础	11
2.2 数控机床坐标系	13
2.3 数控指令代码	17
2.4 数控车床编程	26
2.5 数控铣床编程	35
复习思考题	44
第3章 数控插补技术	46
3.1 概 述	46
3.2 脉冲增量插补	49
3.3 数据采样法插补	62
3.4 刀具补偿原理	67
复习思考题	71
第4章 计算机数控系统	72
4.1 概 述	72
4.2 CNC 系统的硬件结构	76
4.3 CNC 系统的软件结构	80
4.4 CNC 系统的输入/输出与通信功能	88
4.5 开放式数控系统的结构及其特点	94
复习思考题	99

第5章 数控机床的位置检测装置	100
5.1 概 述	100
5.2 脉冲编码器	101
5.3 光 栅	104
5.4 旋转变压器	107
5.5 激光干涉仪	110
复习思考题	111
第6章 数控机床的伺服驱动系统	113
6.1 概 述	113
6.2 开环伺服系统	118
6.3 闭环伺服系统	123
复习思考题	129
第7章 数控机床的机械结构	131
7.1 数控机床的总体结构	131
7.2 数控机床的主传动系统	136
7.3 数控机床的进给传动系统	140
7.4 数控机床的换刀系统	150
复习思考题	154
第8章 数控机床与先进制造系统	155
8.1 数控机床与分布式数控	155
8.2 数控机床与柔性制造系统	158
8.3 数控机床与计算机集成制造系统	160
复习思考题	164
参考文献	165

第 1 章

绪 论

1.1 数控机床的产生和发展

科学技术的不断发展,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是实现上述要求的最主要的措施之一。它不仅能提高产品的质量、提高生产效率、降低生产成本,还能够大大改善工人的劳动条件。大批量的自动化生产广泛采用自动机床、组合机床和专用机床以及专用自动化生产线,实行多刀、多工位多面同时加工,以达到高效率和高自动化。但这些都属于刚性自动化,在面对小批量生产时并不适用,因为小批量生产需要经常变化产品的种类,这就要求生产线具有柔性。而从某种程度上说,数控机床的出现正是满足了这一要求。

1.1.1 数控机床的产生

19 世纪 40 年代初,美国密歇根州的一个小型飞机工业承包商帕森兹公司在制造直升飞机叶片轮廓检查用样板机床时提出了数控机床的初始设想。

第一台数控机床——1952 年,美国麻省理工学院(MIT)受美国空军委托成功研制出一台直线插补连续控制的三坐标立式数控铣床,该数控机床使用的电子器件是电子管,这就是第一代,也是世界上第一台数控机床。数控机床产生和发展的基础是微电子技术、自动信息处理、数据处理、电子计算机技术的发展,它的发展推动了机械制造自动化技术的发展。

1959 年,出现晶体管元器件。1959 年 3 月,美国克耐·杜列可公司(K&T)发明了带有自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”(Machining Center)。19 世纪 60 年代开始,除美国以外的其他一些工业国家如德国、日本等开始开发和使用数控机床。

1965 年,出现小规模集成电路。1967 年,英国产生了 FMS(Flexible Manufacturing System, 柔性制造系统)——几台数控机床连接成具有柔性的加工系统。

1965—1970 年期间,由于计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降。大规模集成电路及小型计算机开始取代专用数控计算机,出现了计算机数控系统(CNC, Computerized NC),数控的许多功能在软件中得以实现。CNC 系统成为第四代系统。1970 年,美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出这种系统。

1970 年前后,美国英特尔公司开发和使用微处理器。1974 年,美国、日本等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统[第五代系统,即 MNC(Microcomputerized NC)]。之后 MNC 机床得到飞速发展。数控技术的发展也越来越突出,数控技术的作用已充分体现在现代制造业中。

1.1.2 数控机床的发展

面对社会对工业产品的需求越来越大,数控机床的普及和技术发展相当必要。数控机床产值的比重迅速超过传统机床,成为主导产品。1989年,日本、德国、美国、意大利、法国、英国六国机床产值占世界的61%,这六国也都是数控机床大国。其中日本、德国是世界数控机床的主要生产国,近年来机床工业的产值数控化率已超过70%。西方国家的机械制造业中数控机床拥有量迅速上升。

机械制造业中的技术密集行业,如航空、航天、汽车、机床工业等数控化率高达60%~90%,而且大量使用由数控机床组成的各种生产单元、柔性线、生产线。如FMC(柔性制造单元)、FMS(柔性制造系统)、FTL(柔性传送生产线),可实行二三班无人看管生产。相比之下,我国工业装备水平和西方的差距,在近几年明显拉大。20世纪80年代以来,由于数控机床的推广,西方工业在装备水平、加工范围、加工质量和生产效率方面获得革命性的进展,对加工业水平的提高,起到了关键性作用,从而拉大了发达国家与发展中国家的差距。我国机械工业因多年来总体效益水平不断下降,这一差距尤其明显。例如,日本Mazak公司2000年与我国合资建立的银川“小巨人机床公司”,全部用数控机床装备,含有三条FMS,实现二三班无人看管生产,有九台数控车铣复合机床、数控龙门五面铣床和超精密卧式加工中心、四台精密数控折弯机和五台精密数控磨床,实现了智能网络制造。

在我国形成这种数控机床普及率不高的现状的主要原因有如下两方面:

一方面是数控机床的售价太高,一台机床至少也要几十万,这对于以小成本经营为主的私有企业来说是很难承担这笔开支的。所以要从改进数控机床的生产技术、提高数控机床的生产效率、节约生产成本等方面降低数控机床的价格,还有,随着世界各国企业纷纷来到中国投资,中国已经成为世界工厂。中国是一个人口众多的国家,这对于劳动力密集型企业来说,雇佣廉价劳动力实现生产的成本比购置数控机床所花的成本低很多。

另一方面,中国对数控技术型的人才培养力度需要加大,由于技术型人才的教育成本太高,尤其是数控技术型人才的培养,导致许多企业招聘不到数控技术型人才。这些都是在中国数控技术没有得到普及的原因。其实,要改变这一现状必须要从以下几个方面去发展:第一是政府要提高最低工资水平,让有能力的企业不得不加大使用数控机床;还有就是加大对数控技术型人才的培养力度,更重要的是要简化数控机床的使用,降低对使用者的技术要求。另外,还要有能和世界发达国家相抗衡的数控机床和数控技术,这样才能让我国数控机床的应用得到普及。

数控机床还要和工业生产要求同步,数控系统技术的突飞猛进为数控机床的技术进步提供了条件。为了满足市场的需要,达到现代制造技术对数控技术提出的更高的要求,当前,我国数控技术及其装备的发展要着手于以下几个方面:

(1) 高速、高效

机床向高速化方向发展,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速的加工技术使制造业实现了高效、优质、低成本生产。

(2) 高精度

从精密加工发展到超精密加工,是我国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级乃至纳米级。

(3) 高可靠性

随着数控机床网络化应用的发展,数控机床的高可靠性已经成为数控系统制造商和数控

机床制造商追求的目标。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在 16 h 内连续正常工作,无故障率在 $P(t) = 99\%$ 以上,则数控机床的平均无故障运行时间(MTBF)就必须大于 3 000 h。对一台数控机床而言,如主机与数控系统的失效率之比为 10 : 1(数控的可靠性比主机高一个数量级)。此时数控系统的 MTBF 就要大于 33 333.3 h,而其中的数控装置、主轴及驱动等的 MTBF 就必须大于 10 万 h。当前,国外数控装置的 MTBF 已达 6 000 h 以上,驱动装置达 30 000 h 以上,可以看到距理想的目标还有差距。

(4) 复合化

在零件加工过程中有大量的无用时间消耗在工件搬运、上下料、安装调整、换刀和主轴的升降速上,为了尽可能降低这些无用时间,能够将不同的加工功能整合在同一台机床上,因此,复合功能的机床成为近年来发展很快的机种。

(5) 多轴化

随着五轴联动数控系统和编程软件的普及,五轴联动控制的加工中心和数控铣床已经成为当前的一个开发热点,由于在加工自由曲面时,五轴联动控制对球头铣刀的数控编程比较简单,并且能使球头铣刀在铣削三维曲面的过程中始终保持合理的切速,从而显著改善了加工表面的粗糙度并大幅度提高了加工效率。而三轴联动控制的机床却无法避免切速接近于零的球头铣刀端部参与切削。因此,五轴联动机床以其无可替代的性能优势已经成为各大机床厂家积极开发和竞争的焦点。

(6) 智能化

提高驱动性能及使用连接方便的智能化,如前馈控制、电动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。

积极鼓励数控机床的普及和研发,使我国的数控技术不仅能跟上世界水平,还要赶超。

1.2 数控机床的组成和特点

数控机床是一个装有数字控制系统的机床,该系统能够处理加工程序,控制机床自动完成各种加工运动和辅助运动。

1.2.1 数控机床的组成

数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床本体和其他辅助装置,如图 1.1 所示。

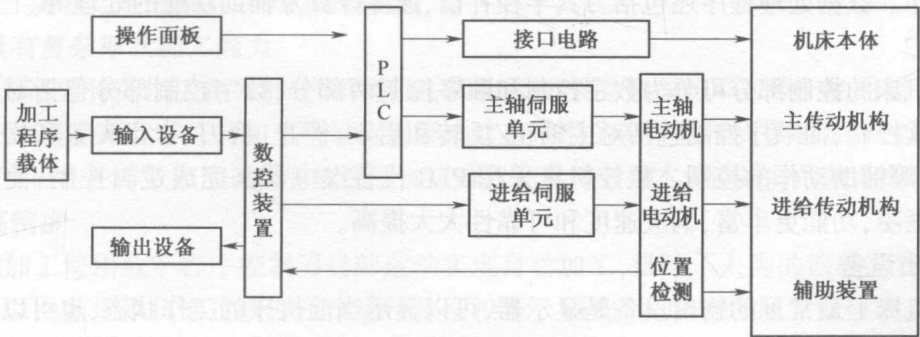


图 1.1 数控机床的基本组成

下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

1. 加工程序载体

数控机床工作时,不需要工人直接去操作机床,要对数控机床进行控制,必须编制加工程序。零件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码,存储在一种程序载体上,如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到 CNC 单元。

2. 输入设备

将数控指令输入给数控装置,根据程序载体的不同,相应有不同的输入装置。主要有键盘输入、磁盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上位计算机的 DNC(直接数控)输入,现仍有不少系统还保留有光电阅读机的纸带输入方式。

①纸带输入方式。可用纸带光电阅读机读入零件程序,直接控制机床运动,也可以将纸带内容读入存储器,用存储器中存储的零件程序控制机床运动。

②MDI 手动数据输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令,它适用于比较短的程序。在控制装置编辑状态(EDIT)下,用键盘输入加工程序,并存入控制装置的存储器中,这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

在具有会话编程功能的数控装置上,可按照显示器上提示的问题,选择不同的菜单,用人机对话的方法,输入有关的尺寸数字,就可自动生成加工程序。

③DNC 直接数控输入方式。把零件程序保存在上位计算机中,CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC(Computer Numerical Control)形式,这种 CNC 装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(Software NC)。CNC 系统是一种位置控制系统,它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理组织,使整个系统协调地进行工作。

输入设备将加工信息传给 CNC 单元,编译成计算机能识别的信息,由信息处理部分按照控制程序的规定,逐步存储并进行处理后,通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 系统的输入数据包括:零件的轮廓信息(起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度及其他辅助加工信息(如换刀、变速、冷却液开关等),数据处理的目的是完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

4. PLC

数控机床的控制部分可分为数字控制和顺序控制两部分,数字控制部分包括对各坐标轴位置的连续控制,而顺序控制包括对主轴正/反转和启动/停止、换刀、卡盘夹紧和松开、冷却、尾架、排屑等辅助动作的控制。数控机床采用 PLC 代替继电器来完成逻辑控制,使数控机床的结构更紧凑,功能更丰富,响应速度和可靠性大大提高。

5. 输出设备

数控机床上最常见的输出设备是显示器,可以显示当前机床的工作状态,也可以显示当前加工程序信息等内容。

6. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分,用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是把来自数控装置的指令信息,经功率放大、整形处理后,转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节,其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标,因此,对数控机床的伺服驱动装置,要求具有良好的快速反应性能,准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号,并能忠实地执行来自数控装置的指令,提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中,数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较,并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

7. 机床本体

机床本体是数控机床的主体。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比,数控机床主体具有如下结构特点:

①采用具有高刚度、高抗震性及较小热变形的机床结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主机的刚度和抗震性,使机床主体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施,可减少热变形对机床主机的影响。

②广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置,使数控机床的传动链缩短,简化了机床机械传动系统的结构。

③采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件,如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

8. 辅助装置

辅助装置是保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置,常用的辅助装置包括:气动、液压装置,排屑装置,冷却、润滑装置,回转工作台和数控分度头,防护,照明等各种辅助装置。

1.2.2 数控加工的特点

数控加工是采用数字信息对零件的加工过程进行定义,并控制机床进行自动加工的一种自动化加工方法。它具有以下几方面特点:

1. 具有复杂形状加工能力

复杂形状零件的加工在飞机、汽车、船舶、模具、动力设备和国防军工等产品的制造过程中占有重要地位,复杂形状零件的加工质量直接影响这些产品的整体性能。数控加工过程中刀具运动的任意可控性使得数控加工能完成普通加工难以完成或者根本无法进行的复杂曲面加工。

2. 高精度

数控加工使用数字程序控制刀具的运动实现自动加工,排除了人为的误差因素,而且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。因此,采用数控加工可以极大地提高零件的加工精度。

3. 高效率

数控加工的生产效率一般比普通加工高 2~3 倍,在加工复杂零件时,生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。采用五面体加工中心、柔性制造单元等数控加工设备进行加工时,零件一次装夹后可以完成几乎所有部分的加工。不仅可以消除多次装夹引起的定位误差,而且可以大大减少加工辅助操作,使得加工效率进一步提高。

4. 高柔性

只需改变加工程序即可适应不同零件的加工要求,而且几乎不需要制造专用的工装夹具,因此加工柔性好,有利于缩短产品的研制与生产周期,适应多品种、中小批量的现代生产需要。

数控加工是一种高效率、高精度、高柔性的自动化加工。但数控设备的费用相对于普通机床要高,因此目前数控加工多应用于零件形状比较复杂、精度要求较高,以及产品更换频繁、生产周期要求短的加工场合。

数控加工是现代自动化、柔性化、数字化生产的基础与关键。数控加工可以提高生产效率、稳定加工质量、缩短加工周期、增加生产柔性,实现对各种复杂精密零件的自动化加工。应用数控加工易于在工厂或车间实现计算机管理,可以减少车间设备的总数、节省人力资源、改善劳动条件,有利于加快产品的开发和更新换代。提高企业对市场的适应能力,增加企业的经济效益。

1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多,可以按不同的方法对数控机床进行分类。

1.3.1 按机床运动的控制轨迹分类

1. 点位控制数控机床

数控系统只控制刀具从一点到另一点的准确位置,而不控制运动轨迹,各坐标轴之间的运动是不相关的,在移动过程中不对工件进行加工(见图 1.2)。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床又称平行控制数控机床,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路线(轨迹),但其运动路线只与机床坐标轴平行移动,也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必有插补运算功能),在移位过程中刀具能以指定的进给速度进行切削,一般只能加工矩形、台阶形零件(见图 1.3)。

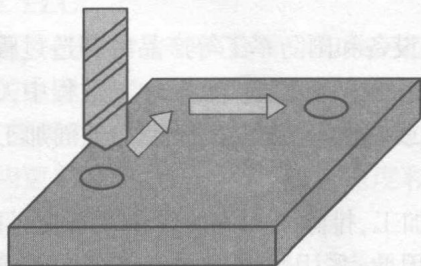


图 1.2 点位控制

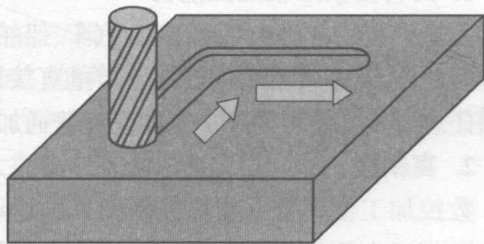


图 1.3 直线控制

只有直线控制功能的机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。这种机床的数控系统又称直线控制数控系统。同样,单纯用于直线控制的数控机床也不多见。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床又称连续控制数控机床,其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求,必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此在这类控制方式中,就要求数控装置具有插补运算功能。所谓插补就是根据程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统内插补运算器的数学处理,把直线或圆弧的形状描述出来,也就是一边计算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合,在运动过程中刀具对工件表面进行连续切削,可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工(见图 1.4)。这类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。

根据它所控制的联动坐标轴数不同,又可以分为下面几种形式:

(1) 二轴联动:主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面,如图 1.5 所示。

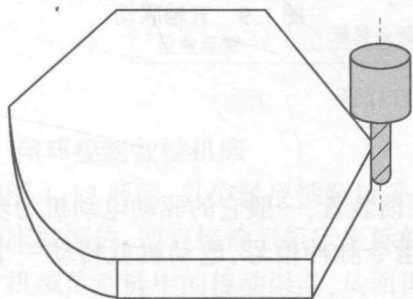


图 1.4 轮廓控制

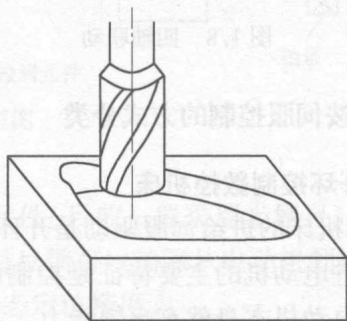


图 1.5 二轴联动

(2) 二轴半联动:主要用于三轴以上机床的控制,其中两根轴可以联动,而另外一根轴可以做周期性进给,如图 1.6 所示。

(3) 三轴联动:一般分为两类,一类就是 $X/Y/Z$ 三个直线坐标轴联动,比较多的用于数控铣床、加工中心等(见图 1.7);另一类是除了同时控制 $X/Y/Z$ 中两个直线坐标外,还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴,如车削加工中心,它除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴联动外,还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

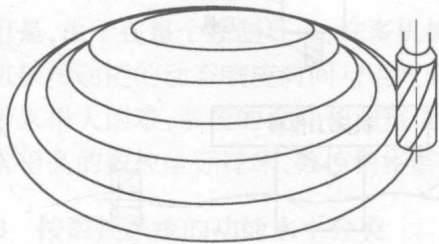


图 1.6 二轴半联动

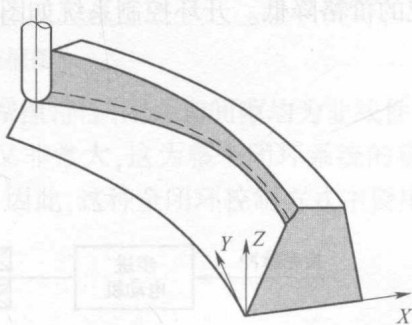


图 1.7 三轴联动

(4) 四轴联动:同时控制 $X/Y/Z$ 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动,如图 1.8 所示。

(5) 五轴联动:除同时控制 $X/Y/Z$ 三个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 $A/B/C$ 坐标轴中的两个坐标轴,形成同时控制五个轴联动,这时刀具可以被定在空间的任意方向(见图 1.9)。比如控制刀具同时绕 X 轴和 Y 轴两个方向摆动,使得刀具在其切削点上始终保持与被加工轮廓曲面成法线方向,以保证被加工曲面的光滑性,提高其加工精度和加工效率,减小被加工表面的粗糙度。

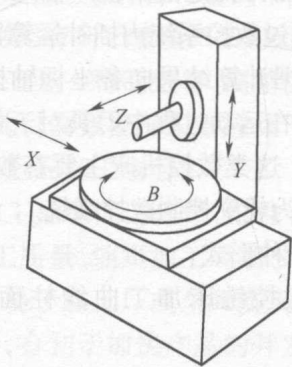


图 1.8 四轴联动

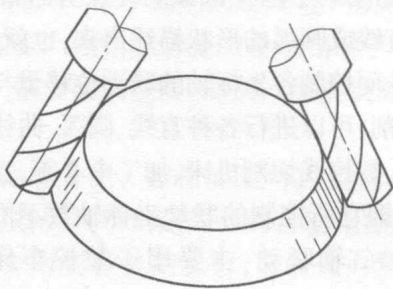


图 1.9 五轴联动

1.3.2 按伺服控制的方式分类

1. 开环控制数控机床

这类机床的进给伺服驱动是开环的,即没有检测反馈装置,一般它的驱动电动机为步进电动机,步进电动机的主要特征是控制电路每变换一次指令脉冲信号,电动机就转动一个步距角,并且电动机本身就有自锁能力。

数控系统输出的进给指令信号通过脉冲分配器控制驱动电路,它以变换脉冲的个数来控制坐标位移量,以变换脉冲的频率控制位移速度,以变换脉冲的分配顺序控制位移的方向。

因此,这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。数控系统发出的指令信号流是单向的,所以不存在控制系统的稳定性问题,但由于机械传动的误差不经过反馈校正,故位移精度不高。早期的数控机床均采用这种控制方式,只是故障率比较高,目前由于驱动电路的改进,使其仍得到了较多应用。尤其在我国,一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。另外,这种控制方式可以配置单片机或单板机作为数控装置,使得整个系统的价格降低。开环控制系统如图 1.10 所示。

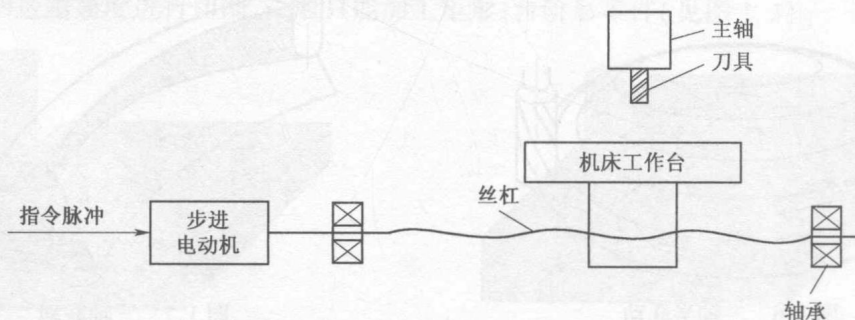


图 1.10 开环控制系统

2. 半闭环控制数控机床

这类数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的,其驱动电动机可采用直流或交流两种伺服电动机,并需要配置位置反馈和速度反馈,在加工中随时检测移动部件的实际位移量,并及时反馈给数控系统中的比较器,它与插补运算所得到的指令信号进行比较,其差值又作为伺服驱动的控制信号,进而带动位移部件以消除位移误差。如图 1.11 所示,其位置反馈采用角位移检测元件(目前主要采用编码器等),直接安装在伺服电动机或丝杠端部。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可以获得较稳定的控制特性。丝杠等机械传动误差虽不能通过反馈随时校正,但是可采用软件定值补偿方法适当提高其精度。目前,大部分数控机床采用半闭环控制方式。

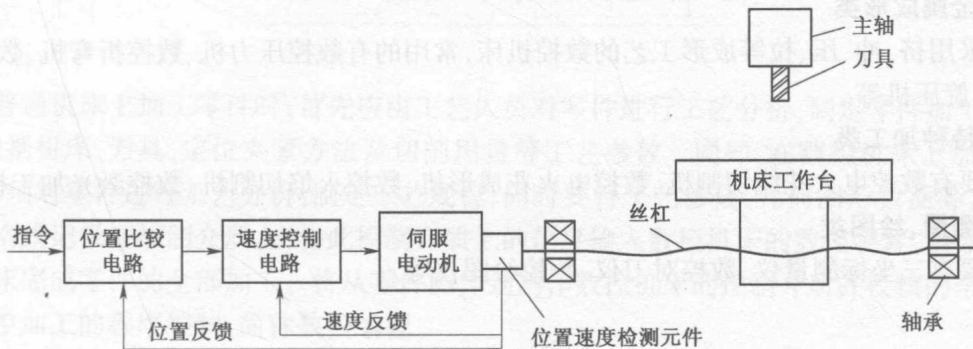


图 1.11 半闭环控制系统框图

3. 闭环控制数控机床

如图 1.12 所示,其位置反馈装置采用直线位移检测元件(目前一般采用光栅尺),安装在机床的床鞍部位,即直接检测机床坐标的直线位移量,通过反馈可以消除从电动机到机床床鞍的整个机械传动链中的传动误差,从而得到很高的机床静态定位精度。

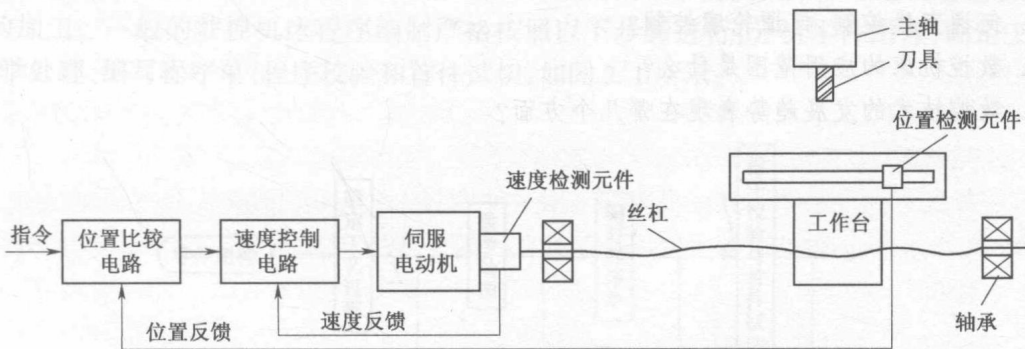


图 1.12 闭环控制系统框图

但是,由于在整个控制环内,许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性,并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比又非常大,这为整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难,系统的设计和调整也都相当复杂。因此,这种全闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控精密磨床等。

1.3.3 按数控系统的功能水平分类

通常把数控系统分为低、中、高三类。这种分类方式,在我国用得较多。低、中、高三档的

界限是相对的,不同时期,划分标准也会不同。就目前的发展水平看,可以根据一些功能及指标,将各种类型的数控系统分为低、中、高三档。其中,高档一般称为全功能数控或标准型数控。

1. 金属切削类

指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。它又可分为以下两类:

①普通型数控机床:如数控车床、数控铣床、数控磨床等。

②加工中心:其主要特点是具有自动换刀机构的刀具库,工件经一次装夹后,通过自动更换各种刀具,在同一台机床上对工件各加工面连续进行铣(车)键、铰、钻、攻螺纹等多种工序的加工,如(镗/铣类)加工中心、车削中心、钻削中心等。

2. 金属成形类

指采用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

3. 特种加工类

主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

4. 测量、绘图类

主要有三坐标测量仪、数控对刀仪、数控绘图仪等。

复习思考题

1. 数控(NC)和计算机数控(CNC)的联系和区别是什么?
2. 数控机床由哪几部分组成,各组成部分的功能是什么?
3. 简述闭环数控系统的控制原理,它与开环数控系统有什么区别?
4. 何谓直线控制,何谓轮廓控制?
5. 数控机床的应用范围是什么?
6. 数控技术的发展趋势表现在哪几个方面?

第2章

■ 数控加工程序编制

2.1 数控程序编制基础

在普通机床上加工零件时,首先应由工艺人员对零件进行工艺分析,制定零件加工的工艺规程,包括机床、刀具、定位夹紧方法及切削用量等工艺参数。同样,在数控机床上加工零件时,也必须对零件进行工艺分析,制定工艺规程,同时要将工艺参数、几何图形数据等,按规定的信息格式记录在控制介质上,将此控制介质上的信息输入数控机床的数控装置,由数控装置控制机床完成零件的全部加工。将从零件图样到制作数控机床的控制介质并校核的全部过程称为数控加工的程序编制,简称数控编程。

2.1.1 数控编程的一般步骤

数控机床是按照事先编制好的加工程序自动对工件进行加工的高效自动化设备。在数控机床上加工零件时,要预先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和走刀运动数据,然后编制加工程序,传输给数控系统,在事先存入数控装置内部的控制软件支持下,经处理和计算,发出相应的进给运动指令信号,通过伺服系统使机床按预定轨迹运动,进行零件的加工。一般的数控机床程序编制严格按照以下步骤进行:分析零件图样、确定工艺过程、数学处理、编写程序单、程序校验与首件试切,如图 2.1 所示。

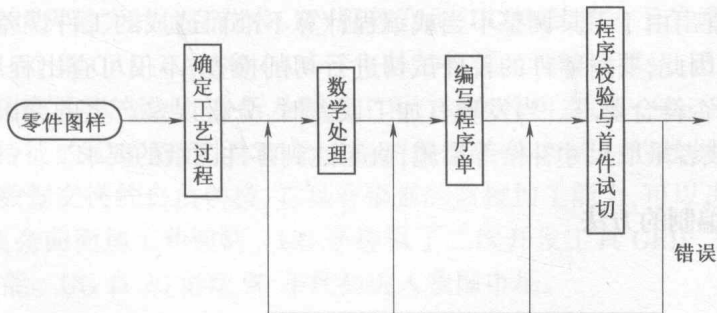


图 2.1 数控编程的一般步骤

1. 分析零件图样

首先对零件图样进行分析。要分析零件的材料、形状、尺寸、精度、批量、毛坯形状和热处理要求等,以便确定该零件是否适合在数控机床上加工,或适合在哪种数控机床上加工,同时要明确加工的内容和要求。