



21世纪高等职业教育规划教材
高职高专机械类专业通用技术平台精品课程教材

数控加工工艺及编程

第 二 版

主 编 李秀霞
副主编 侯培红
主 审 方林中



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

21 世纪高等职业教育十二五规划教材
高职高专机械类专业通用技术平台精品课程教材

数控加工工艺及编程

（第二版）

主 编 李秀霞
副主编 侯培红
主 审 方林中
参 编 王利全 董建民 许晋仙
倪同强 朱 勇

上海交通大学出版社

内容提要

本书介绍数控加工工艺与数控编程,既注意了知识的系统性、完整性,又实现了两者的融会贯通。书中以提升学生的数控技术实践能力为目标,以数控工艺设计和编程为主线,力求讲解新技术、新知识和实践应用技巧。全书分7章,内容包括:数控加工概述;数控加工编程基础;数控车削加工工艺;数控车削程序的编制;数控铣削与加工中心加工工艺;数控铣削与加工中心程序的编制;数控电火花、线切割工艺与编程等。

本书可作为职业技术学院、高等专科学校、本科二级职业技术学院、民办高校、成人高校等数控技术专业、模具设计与制造等专业的教学用书,也可供数控相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺及编程/李秀霞主编. —2版. —上海:上海交通大学出版社,2014
ISBN 978-7-313-10834-0

I. 数... II. 李... III. ①数控机床—加工工艺—高等职业教育—教材 ②数控机床—程序设计—高等职业教育—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 018333 号

数控加工工艺及编程(第二版)

主 编:李秀霞

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海亿顺印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:453 千字

版 次:2007 年 9 月第 1 版 2014 年 2 月第 2 版

书 号:ISBN 978-7-313-10834-0/TG

定 价:39.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:19

印 次:2014 年 2 月第 6 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-56889281

前 言

随着现代科学技术的迅猛发展,机械制造技术的内涵和外延都发生了根本性的变化。传统的普通加工设备和加工技术已难以适应加工制造业高质量、高效率和高柔性的要求,数控加工技术已广泛应用于机械制造生产领域。数控技术人才培养的问题已经成为瓶颈,制约了制造业的长足发展。根据企业对数控技术人才需求的调研结果显示,目前企业急需大批既熟悉数控加工工艺,又精通数控编程、操作的技术人才,特别是具备较深厚的综合职业技术素养、能解决数控技术工程实践问题的复合型人员非常紧缺。这要求我们在数控技术的教学和人才培养过程中,必须充分考虑技术的实用性和先进性,遵循“必需、够用、实用及可操作性”的原则。

本教材在案例的遴选上注重技术的实用性,精心挑选了大量工程实践中的案例进行讲解;在知识点的编排上,充分考虑学生的认知规律和学习能力,既有重点讲解又有适当的延续和重复;在内容编排上,将数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺独立成章,而且在数控车削编程、数控铣削编程章节,又结合所涉及的相关工艺知识融汇贯通地进行讲解,工艺、编程既独立又结合地编排,保证了知识的系统性、完整性,非常方便师生在教学过程中,根据学生实际的基础情况有选择性地进行学习。

本教材的案例程序指令均基于 FANUC 0i 数控系统,经过验证,确保知识的正确性;综合性案例都取材于上海市数控中级工技能鉴定真题以及工程实践,具有很好的技能训练作用;在重要的知识点或者指令群的介绍后都及时安排了针对性的案例讲解、阶段性训练;很多工艺、编程的实践技巧都以“技能提升”为标识做出了总结归纳,以加深学生的理解,拓展技术视野;本教材各章节后面都配有实用性较强的习题与复习题,方便学生对知识点的巩固,提升学习效果。

本教材可以作为高职高专以及本科二级学院的数控技术、模具技术、机械制造技术、机电一体化技术等专业的教材,也可以用于行业组织的数控技术人员技术培训。

本教材由上海电子信息职业技术学院李秀霞老师任主编,上海电机学院侯培红老师任副主编。上海电子信息职业技术学院倪同强、朱勇老师编写第1章;上海建峰职业技术学院许晋仙老师编写第2章;甘肃机电职业技术学院董建民老师、包头职业技术学院王利全老师编写第3章,李秀霞老师编写第4、5、6章;包头职业技术学院王利全老师编写第7章;侯培红老师参编第1、2、3章节内容。上海电子信息职业技术学院方林中老师主审整本教材。在教材的编写过程中,陈颂祥、王超、朱良炜、杨朝发等在校对、编辑、组图等过程中做了大量辛苦的工作,在此表示真挚的感谢。

由于编者水平有限,书中存在的不妥之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者
2013 年 12 月

目 录

第 1 章 数控加工概述	1
1.1 数控加工的产生与发展	1
1.2 数控机床的组成	3
1.3 数控机床的分类	6
1.4 数控加工的特点和发展趋势	11
第 2 章 数控加工编程基础	17
2.1 数控编程的概念、步骤和方法	17
2.2 数控加工中的坐标系	21
2.3 程序编制中的数学处理	26
2.4 数控加工程序的组成与程序段的格式	29
2.5 常用的基本指令	32
2.6 数控加工技术文件的编写	39
第 3 章 数控车削加工工艺	44
3.1 数控车削加工工艺基础	44
3.2 数控车削加工工艺的制订	48
3.3 典型零件的数控车削加工工艺案例分析	79
第 4 章 数控车削程序的编制	91
4.1 数控车床编程基础	91
4.2 数控车削控制系统的主要功能	94
4.3 数控车削的基本编程指令	101
4.4 循环加工指令	110
4.5 子程序加工	132
4.6 宏程序加工	134
4.7 典型零件的数控车削加工	139
第 5 章 数控铣削与加工中心的加工工艺	158
5.1 数控铣削与加工中心概述	158
5.2 数控铣削与加工中心工艺方案的制订	164
5.3 典型零件的数控铣削加工工艺案例分析	199

第 6 章 数控铣削及加工中心程序的编制·····	209
6.1 数控铣削、加工中心编程基础·····	209
6.2 数控铣削、加工中心的基本编程指令·····	212
6.3 固定循环功能 ·····	223
6.4 子程序、比例缩放和镜像、坐标系旋转加工 ·····	231
6.5 用户宏程序 ·····	243
6.6 数控铣削、加工中心的基本编程方法·····	251
第 7 章 数控电火花线切割加工的工艺与编程·····	273
7.1 数控电火花线切割加工的原理、特点及应用·····	273
7.2 数控电火花线切割加工的工艺 ·····	275
7.3 数控电火花线切割加工的编程 ·····	285
参考文献·····	295

第 1 章 数控加工概述

【学习目标】

通过本章的学习,了解数控加工技术的产生和发展趋势,掌握数控机床、数控加工有关概念,了解数控机床的工作原理、数控机床的组成及数控加工的特点,掌握数控机床按照加工工艺形式、伺服反馈形式等不同角度的分类。

1.1 数控加工的产生与发展

1.1.1 数控加工的基本概念

数控加工技术是伴随着数控机床的产生而出现并随其发展而得以逐步完善的一种应用技术,是人们进行大量数控加工实践的总结。数控加工工艺就是采用数控机床加工零件所采用的各种技术方法。与传统加工工艺相比较,在许多方面,它们遵循的原则基本上是一致的,只是数控机床比传统机床具有更多的功能,可以加工普通机床难以加工或不能加工的具有复杂形面的零件。

1. 数字控制与数控机床

数字控制,简称数控(Numerical Control,NC)是一种采用数字化信息对机床等受控对象的动作过程进行自动控制的一种技术,该技术从 20 世纪 50 年代开始发展起来,现在已经被广泛应用于航空航天、医疗、机械加工等众多领域。

在数控技术中引进计算机技术,简称为计算机数控(Computer Numerical Control,简称 CNC)。CNC 具有柔性好、功能强、可靠性高、经济性好、易于实现机电一体化等优点。

数控机床是指装备了数控系统的机床。它运用计算机数控技术,对机床的运动以及加工过程进行自动控制。

数控加工工艺是指利用数控机床对工件进行自动加工所采取的技术、方法、手段的总和。

2. 数控机床的工作原理

数控机床加工工件时,首先根据工件的图纸和工艺方案,把工件的形状尺寸结合加工过程中的各种操作步骤(如主轴变速、装夹刀具、进刀退刀、自动关停冷却液、程序的启停等),用规定的代码和格式编写加工程序,制作加工控制介质(磁盘、串口、网络)送入数控装置,数控装置对输入的信息进行处理与运算,发出相应的控制信号,控制机床的伺服系统或其他驱动原件,实现刀具与工件的相对运动,完成零件的加工。

1.1.2 数控机床的产生与发展

数控机床的产生、发展主要有下列原因:

1. 机械产品技术要求逐渐提高

随着科学技术和社会生产的迅速发展,机械产品日趋复杂,社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。特别是在航空航天、造船和计算机等工业中,零件精度高、形状复杂、多品种、小批量、加工困难、劳动强度大,传统的机械加工方法已经难以保证质量和零件的互换性。零件加工的现状迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备。

2. 科学技术的飞速发展和交叉应用

电子技术、计算机技术、传感技术、通信技术、自动控制技术等多学科技术的飞速发展和交叉发展是数控机床产生的技术保障。

1948年美国空军部门提供设备研究经费,组织Parsons公司与MIT(麻省理工学院)合作研究制造复杂的飞机零件。1952年,研制成功了世界上第一台数控铣床,它可以进行直线插补,加工直升飞机叶片轮廓检查样板。该机床的诞生,标志着电子技术、通信技术、自动控制技术以及机电一体化技术等多学科技术在机械加工领域交叉应用的重大变革。

数控机床为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。半个世纪以来,数控技术得到了迅猛的发展,加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了2个阶段和6个时代。

(1) 数控(NC)阶段(1952—1970年)。早期的计算机运算速度慢,不能适应机床实时控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了3代,即1952年的第1代——电子管数控机床,1959年的第2代——晶体管数控机床,1965年的第3代——集成电路数控机床。

(2) 计算机数控(CNC)阶段(1970年—现在)。1970年,通用小型计算机已出现并开始成批生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了3代,即1970年的第4代——小型计算机数控机床,1974年的第5代——微型计算机数控系统,1990年的第6代——基于PC的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,更新换代非常迅速,在制造领域的加工优势逐渐体现出来。当今的数控机床已经在机械加工中占有举足轻重的地位,是计算机直接数控(DNC)系统、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、自动化工厂(FA)的基本组成单位。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

我国从1958年开始研制数控机床,1966年研制成功晶体管数控系统,并将样机应用于生产。1968年成功研制X53K-1立式铣床。20世纪70年代初,加工中心研制成功。1980年,北京机床研究所引进了日本的FANUC5、7、3、6数控系统,上海机床研究所引进了美国GE公司的MTC1数控系统,辽宁精密仪器厂引进了美国Bendix公司的Dynaph LTD10数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,北京机床研究所开发出BS03经济型数控系统和BS04全功能数控系统,航天部706所也研制出MNC864数控系统。“八五”期间,我国又组织近百个单位进行了以发展自主版权为目标的“数控技术攻关”,从而为数控技术产业化奠定了基础。20世纪90年代末,华中数控公司自主开发出基于PC-NC的HNC数控系统,达到了国际先进水平,加强了我国数控机床在国际上的竞争力度。近年来,我国在五轴联动的数控系统

研究上做了大量工作,为柔性制造单元配套的数控系统也陆续开发出来。目前我国数控机床生产已经初步建立了以中、低档为主的产业体系,为今后的发展奠定了基础,与发达国家的差距在不断缩小。

1.2 数控机床的组成

1.2.1 数控机床的组成

数控机床包括输入输出设备、数控装置、伺服控制系统、可编程控制器 PLC、机床本体、位置检测反馈装置以及操作面板等部分。而伺服控制系统又包括进给伺服系统、主轴驱动系统等。如图 1-1 所示,机床本体以外的部分统称为数控系统,数控装置是数控系统的核心。数控机床各部分的功能如下:

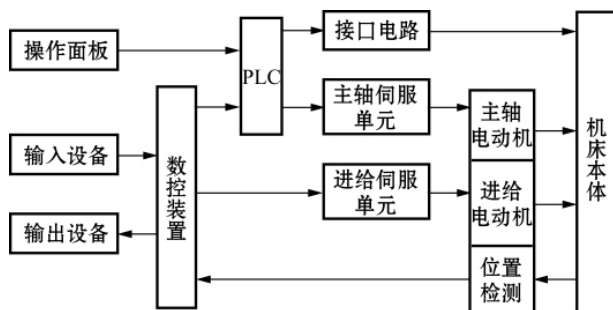


图 1-1 数控机床的组成

1. 输入输出设备

数控机床加工前,必须输入操作人员编好的零件加工程序。在加工过程中,要把加工状态,包括刀具的位置、各种报警信息等告诉操作人员,以便操作人员了解机床的工作情况,及时解决加工中出现的各种问题。这就是输入输出设备的作用。

常见的输入设备是键盘,此外还有光电阅读机和串行输入输出接口。光电阅读机用来读入记录在纸带上的加工程序,串行输入输出接口用来以串行通信的方式与上级计算机或其他数控机床传递加工程序。现在普遍流行两种输入方式:其一是操作人员利用键盘输入比较简单的数控程序、编辑修改程序和发送操作命令,即进行手动数据输入(Manual Data Input,简称 MDI);其二是用 DNC 串行通信方式将比较复杂的数控程序由编程计算机直接传送至数控装置。

常见的输出设备是显示器,数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息。显示的信息一般包括正在编辑或运行的程序,当前的切削用量、刀具位置、各种故障信息、操作提示等。简单的显示器是由若干个数码管构成的七段 LED 显示器,这种显示器能显示的信息有限。高级的数控系统一般都配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器,显示信息丰富。高档的 CRT 显示器或液晶显示器除能显示字符外,还可以显示加工轨迹图形。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,包括微型计算机、各种接口电路、显示器等硬件及相应的软

件。它能完成信息的输入、存储、变换、插补运算及各种控制功能。它接受输入装置送来的数字信息,经过控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,将各种指令信息输出给伺服系统,控制机床相应部位按规定的动作执行,加工出所需的零件。这些控制信号包括:各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度的指令信号;主运动部件的变速、换向和启停指令信号;选择和交换刀具的刀具指令信号;控制冷却、润滑的启停,工件和机床部件松开、夹紧,分度工作台转位等的辅助信号等。其中,机床辅助动作信号通过 PLC 对机床电器的逻辑控制来实现。目前数控装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现控制功能。

3. 操作面板

数控机床的操作是通过操作面板实现的,操作面板由数控面板和机床面板组成。

数控面板是数控系统的操作面板,多数由显示器和手动数据输入(简称 MDI)键盘组成,又称为 MDI 面板。显示器的下部常设有菜单选择键,用于选择菜单。键盘除各种符号键、数字键和功能键外,还可设置用户定义键等。操作人员可以通过键盘和显示器,实现系统管理,对数控程序及有关数据进行输入、存储和编辑修改。在加工中,屏幕可以动态显示系统状态和故障诊断报警等。此外,数控程序及数据还可以通过磁盘(即软盘)或通信接口输入。

机床面板(Operator Panel)主要用于手动方式下对机床的操作,以及自动方式下对运动的控制或干预。其上有各种按钮与选择开关,用于机床及辅助装置的启停、加工方式选择、速度倍率选择等;还有数码管及信号显示等。另外,数控系统的通信接口,如串行接口,常设置在操作面板上。

4. 进给伺服系统

进给伺服系统主要由进给伺服单元和伺服进给电动机组成。对于闭环和半闭环控制的进给伺服系统,还应包括位置检测反馈装置。进给伺服单元接收来自 CNC 装置的运动指令,经变换和放大后,驱动伺服电动机运转,实现刀架或工作台的运动。

在闭环和半闭环控制伺服进给系统中,位置检测反馈装置安装在机床上(闭环控制)或伺服电动机上(半闭环控制),其作用是将机床或伺服电动机的实际位置信号反馈给 CNC 系统,以便与指令位移信号相比较,用其差值控制机床运动,达到消除运动误差,提高定位精度的目的。

一般说来,数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置;而数控机床性能的优劣,如运动速度与精度等,则主要取决于伺服驱动系统。

数控技术的不断发展对进给伺服驱动系统的要求越来越高,一般要求定位精度为 $0.01 \sim 0.001\text{mm}$,高精设备要求达到 0.0001mm 。为保证系统的跟踪精度,一般要求动态过程在 200 微秒,甚至几十微秒以内,同时要求超调要小;为保证加工效率,一般要求进给速度为 $0 \sim 24\text{m/min}$,高档设备要求在 $0 \sim 240\text{m/min}$ 内连续可调。此外,要求低速时有较大的输出转矩。

5. 主轴驱动系统

主轴驱动系统主要由主轴伺服单元和主轴电动机组成,数控机床的主轴驱动与进给驱动区别很大,现代数控机床对主轴驱动提出了更高的要求,要求主轴具有很高的转速和很宽的无级调速范围,进给电动机一般是恒转矩调速,而主电动机除了有较大范围的恒转矩调速外,还

要有较大范围的恒功率调速;电动机功率输出应为 $2.2\sim 250\text{kW}$,既能输出大的功率,又要求主轴结构简单。

对于数控车床,为了能加工螺纹和实现恒线速度切削,要求主轴和进给驱动能实现同步控制。对于加工中心,为了保证每次自动换刀时刀柄上的键槽对准主轴上的端面键,以及精镗孔后退刀时不会划伤已加工表面,要求主轴具有高精度的准停和分度功能。在加工中心上,为了能自动换刀,还要求主轴能实现正反方向的转动和加、减速控制。现代数控机床绝大部分采用交流主轴驱动系统,由可编程序控制器进行控制。

6. 可编程序控制器(PLC)

PLC 和数控装置配合共同完成对数控机床的控制,数控装置主要完成与数字运算和管理等有关的功能,如零件程序的编辑、译码、插补运算、位置控制等;而 PLC 主要完成与逻辑运算有关的动作,将工件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息,译码后转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床的相应开关动作,如机床启停、工件装夹、刀具更换、切削液开关等一些辅助功能。PLC 是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置。PLC 接受来自机床操作面板和数控装置的指令,一方面通过接口电路直接控制机床的动作,另一方面将有关指令送往 CNC 用于加工过程控制。

CNC 系统中的 PLC 有内置型和独立型。内置型 PLC 与 CNC 是综合在一起设计的,又称集成型,是 CNC 的一部分。独立型 PLC 由独立的专业厂生产,又称外装型。

7. 检测反馈装置

检测反馈装置的工作原理,首现是将机床的实际位置、速度等参数检测出来,转变成电信号,输送给数控装置;其次将机床的实际位置、速度与指定位置、速度进行比较,继而由数控装置发出指令修正所产生的误差。目前数控机床上常用的检测反馈装置主要有光栅、磁栅、感应同步器、码盘、旋转变压器、测速发电机等。

8. 机床本体

机床本体是数控机床实现切削加工的机械结构部分,数控机床的机械结构的设计与制造要适应数控技术的发展,与普通机床相比,应具有更高的精度、刚度、热稳定性和耐磨性;由于普遍采用了伺服电动机无级调速技术,机床进给运动 and 主传动的变速机构被极大地简化甚至取消;广泛采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效、高精度传动部件;采用机电一体化设计与布局,机床布局主要考虑有利于提高生产率,而不像传统机床那样主要考虑操作方便。此外,还采用自动换刀装置、自动更换工件机构和数控夹具等。

1.2.2 数控加工的基本流程

数控机床加工零件的基本流程,如图 1-2 所示,主要包括以下内容:

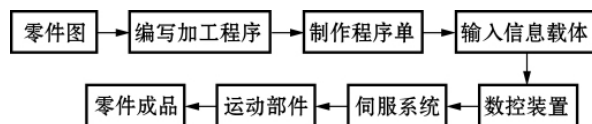


图 1-2 数控机床加工的基本流程

1. 分析图样,确定工艺方案

根据零件加工图纸进行工艺分析,确定加工方案、选择合适的机床、刀具、夹具,确定合理的进给路线以及切削用量。

2. 数学处理

建立工件的几何模型,计算加工过程中刀具相对于工件的运动轨迹,最终目的是为了获得后续编程所需要的相关位置点位数据。

3. 制作程序

手工编程时是指用规定的程序代码和格式编写数控加工程序单;软件自动编程时是指用自动编程软件直接生成数控加工程序。

4. 程序的输入或传输

手工编写的程序,可以通过数控机床的操作面板手动输入数据;软件自动编程生成的程序,程序量很大,一般要通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元进行DNC在线加工。

5. 程序校验和试切削

将输入或传输到数控单元的加工程序进行空运行、图形动态模拟和试切削等来校验程序的正确性。发现错误时,要分析产生错误的原因,并通过调整刀补、修改程序等各种措施进行修正。在不断校验修正的情况下,对机床正确操作,按程序运行,才能加工出合格零件。

1.3 数控机床的分类

数控机床的品种繁多,功能各异,根据其加工、控制原理、功能和组成,通常从以下几个不同的角度进行分类。

1.3.1 按加工用途分类

1. 金属切削类

(1) 普通数控机床。与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应,普通数控机床包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是数字化控制的,具有较高的生产率和自动化程度。

(2) 加工中心。在普通数控机床上加装一个刀库和换刀装置就成为加工中心。加工中心进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如具有钻、镗、铣加工功能的加工中心,它是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的,工件一次装夹后,可以对箱体零件的4个面甚至5个面的大部分加工工序进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工,特别适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差,减少了数控机床的配置台数和占地面积,缩短了辅助时间,大大提高了生产效率和加工质量。

2. 特种加工类

除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量用于特种加工领域。特种加工数控机床主要包括数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

3. 金属成型类

这类机床主要是指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、数控折弯机、数控弯管机等。

4. 测量测绘类

主要包括采用数控技术的数控多坐标测量机、自动绘图仪、对刀仪等。

1.3.2 按控制运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床只要求获得准确的加工坐标点的位置。因为在移动过程中不进行任何加工,所以对运动轨迹并无要求。几个坐标轴之间的运动无任何联系,可以几个坐标同时向目标点运动,也可以各个坐标单独依次运动。为提高生产效率以及保证定位精度,刀具或工件一般会快速接近目标点,然后低速准确移动至定位点。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床不仅要控制终点位置,还能沿平行于坐标轴或与坐标轴成 45° 夹角的斜线方向做直线轨迹的切削加工,同时进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。这类控制方式仅用于简易的数控车床、数控铣床上。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带有多轴箱的轴向进给进行钻镗加工,它也可算做一种直线控制数控机床。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床又称为连续控制数控机床。其特点是能够对两轴及以上运动坐标的位移及速度进行连续控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。这类控制形式的数控装置必须有插补运算的功能,能根据加工程序输入的基本数据(例如直线、圆弧的起点、终点坐标,圆心坐标或半径等),通过数控系统的插补运算,把直线或曲线的相关坐标点计算出来,并且一边计算一边根据计算结果控制多个坐标轴进行协调运动。这种机床能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移,将工件加工成要求的轮廓形状。现在计算机数控装置的控制功能均由软件实现,增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此,除少数专用控制系统外,目前市场上广泛使用的数控设备都是轮廓控制系统。

1.3.3 按驱动装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

图1-3为开环控制数控机床系统。这类控制的数控机床的控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电机旋转一个角度,再经过齿轮减速装置带动丝杠旋

转,通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的,即进给脉冲发出去后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制数控机床。

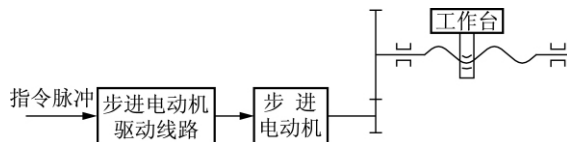


图 1-3 开环控制系统

开环控制系统的数控机床结构简单、成本较低、工作稳定、反应快、调试维修方便,但是系统对移动部件的实际位移量不进行监测,也不能进行误差校正。因此,步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度,导致这类机床控制精度低。开环控制系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床,多用于经济型数控机床或旧机床进行数控化改造。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移进行检测,将测量的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用偏差进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲,闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度,与传动链的误差无关,因此控制精度高。图 1-4 为闭环控制数控机床的系统,A 为速度传感器,C 为直线位移传感器。这类控制的数控机床,因把机床工作台纳入了控制环节,故称为闭环控制数控机床。

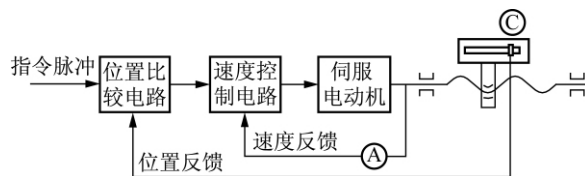


图 1-4 闭环控制系统

闭环控制数控机床的定位精度高,但调试和维修都较困难,系统复杂,成本很高,主要用于精度要求高的数控机床,如精密镗铣床、超精密数控车床等。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴端或传动丝杠上端部装有角位移电流检测装置(如光电编码器、感应同步器等),通过检测伺服电动机或者丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移,然后反馈到数控装置中去,并对误差进行修正。图 1-5 为半闭环控制数控机床的系统,A 为速度传感器、B 为角度传感器。通过测速元件 A 和光电编码盘 B 可间接检测出伺服电动机的转速,从而推算出工作台的实际位移量,将此值与指令值进行比较,用差值来实现控制。由于惯性较大的机床移动部件没有包括在控制回路中,因而称为半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控系统的环路内不包括惯性较大的滚珠丝杠螺母副及工作台,所以控制比较稳定,调试比较方便。此类机床大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体,使结构更加

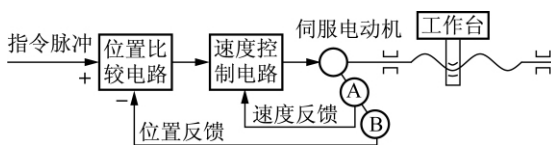


图 1-5 半闭环控制系统

紧凑。但是,这类系统不能补偿部分装置的传动误差,因此加工精度低于闭环控制系统。目前,半闭环控制系统广泛应用于中档数控机床。

4. 混合控制数控机床

混合控制数控机床是将以上 3 类数控机床的特点有机地结合。一般适用于大型或重型数控机床。因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度,其传动链惯量与力矩均较大,如果采用全闭环控制,机床传动链和工作台则全部置于控制闭环中,闭环调试比较复杂。而采用混合控制系统,既能保证加工效率又能保证加工精度。混合控制系统又分为两种形式:

(1) 开环补偿型。图 1-6 为开环补偿型控制系统,它的基本控制选用步进电动机的开环伺服机构,另外附加一个校正补偿电路,用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。这样既保留了开环控制的优点,又较好地解决了步进电机失步和过冲的问题,使开环控制的精度得以提高。

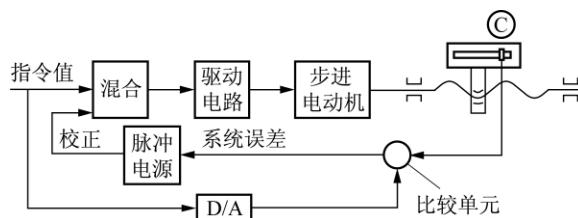


图 1-6 开环补偿型控制系统

(2) 半闭环补偿型。图 1-7 为半闭环补偿型控制方式,它是用半闭环控制方式取得高精度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正,因而这种系统实现了高速度与高精度的统一。这种控制方式一般用于既要求较高的进给速度和返回速度,又要求具备高精度的大型数控机床。图 1-7 中 A 是速度测量元件(如测速发电机),B 是角度测量元件,C 是直线位移测量元件。

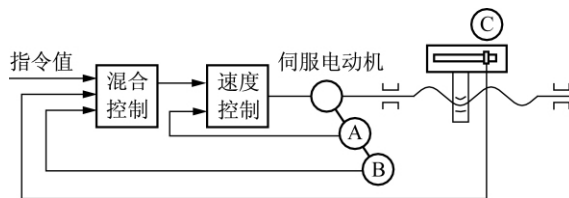


图 1-7 半闭环补偿型控制系统

1.3.4 按控制坐标轴数分类

数控机床的坐标轴数目涉及可控轴数和联动轴数两个基本概念。

可控轴数是指数控系统可以控制的、按照加工要求运动的坐标轴数目(其中又包括移动坐标轴和旋转坐标轴)。它与数控系统的运算处理能力、运算速度及内存容量有关。当前,世界范围内数控系统的可控轴数已达 24 轴,我国达到 6 轴。

联动轴数是指数控系统可以同时控制的、按照加工要求运动的坐标轴数目。联动轴数越多说明数控系统加工复杂曲面的能力越强。数控系统按照联动轴数分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、多轴联动等几种形式。

1. 两轴联动机床

两轴联动机床是指固定某两根轴为联动控制,第三轴做点位或直线的周期进给,可实现二维直线、斜线、圆弧等曲线的轨迹控制,主要用于数控车床加工回转体端面、圆锥面、圆弧面等,或者用于数控铣床加工如图 1-8 所示的板类零件的曲线轮廓。

2. 两轴半联动机床

两轴半联动是指任意两根轴可以联动控制,而另外一根轴做点位或直线周期进给,可以实现如图 1-9 所示球头刀对三维空间曲面用行切法进行的三轴两联动控制加工。

3. 三轴联动机床

如图 1-10 所示,三轴联动机床是指 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴可以联动,或控制 X 、 Y 、 Z 中的两个直线坐标轴以及绕其中某一根直线坐标轴做旋转运动的坐标轴联动。例如车削加工中心除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴外,还同时控制绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。数控铣床、铣削加工中心则用于加工三维空间曲面等。

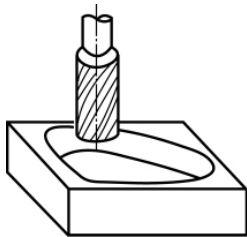


图 1-8 两轴联动

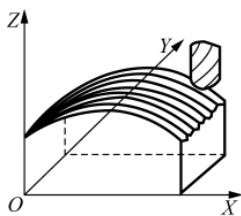


图 1-9 两轴半联动

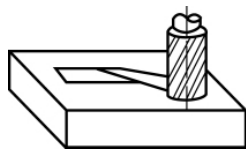


图 1-10 三轴联动

4. 多轴联动数控机床

在某些复杂曲面的加工中,为保证加工精度或提高加工效率,铣刀的侧面或端面应始终与曲面贴合,这就需要铣刀轴线位于曲线或曲面的切线或法线方向,为此,除需要 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外,还需同时控制三个旋转坐标 A 、 B 、 C 中的一个或两个,使铣刀轴线围绕直线坐标轴摆动,形成四轴或五轴联动,如图 1-11 所示的四轴联动加工和如图 1-12 所示的五轴联动加工。

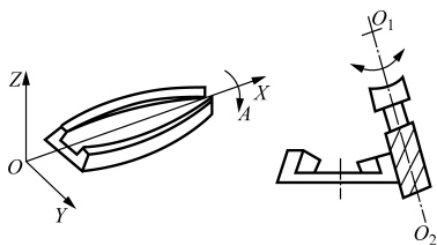


图 1-11 四轴联动

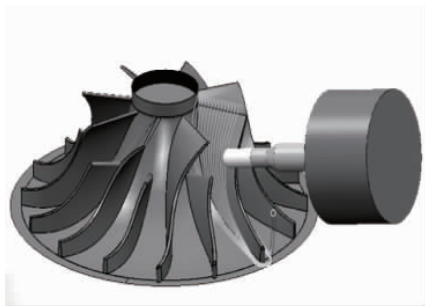


图 1-12 五轴联动

图 1-11 为四轴联动加工,图中所示飞机大梁的加工表面是直纹扭曲面,若采用三坐标联动的球头铣刀加工,不但生产率低,而且加工表面质量差,为此可采用四轴联动的圆柱铣刀周边切削方式。此时,除了三个移动坐标联动外,为保证刀具与工件型面在全长上始终接触,刀具轴线还要同时绕 X 直线坐标轴相对应的旋转坐标轴 A 轴做摆动。

如果要加工如图 1-12 所示的叶轮,为保证铣刀的周边与曲面的侧面重合,除了三个移动坐标联动外,端铣刀轴线必须沿 A 、 C 坐标作绕 X 和 Z 轴的旋转运动。一般由工作台带动工件完成 A 、 C 轴的旋转运动。

1.4 数控加工的特点和发展趋势

1.4.1 数控加工的特点

相对传统的机械加工,数控机床加工有如下特点:

1. 自动化程度高,具有很高的生产效率

除手工装夹毛坯外,其余全部加工过程都可由数控机床自动完成。若配合自动装卸手段,则是无人控制工厂的基本组成环节。数控加工减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件,省去了划线、多次装夹定位、检测等工序及其辅助操作,有效地提高了生产效率。

2. 加工精度高,产品质量稳定

加工尺寸精度在 $0.005 \sim 0.01 \text{ mm}$ 之间,不受零件复杂程度的影响。由于大部分操作都由机器自动完成,因而消除了人为误差,提高了批量零件尺寸的一致性,同时精密控制的机床上还采用了位置检测装置,更加提高了数控加工的精度。

3. 对加工对象的适应性强,具有高度的柔性

改变加工对象时,除了更换刀具和解决毛坯装夹方式外,只需重新编程即可,不需要作其他任何复杂的调整,从而缩短了生产准备周期。

4. 能实现复杂零件的加工

随着 CAD/CAM 技术的飞速发展,利用图形自动编程软件可以便捷地生成复杂型面的加工程序,而且,由于数控机床采用计算机插补技术以及多坐标联动控制,可以在加工程序的控制下实现任意的轨迹运动。随着多轴技术的迅速发展,数控机床可以方便地加工出任何形状复杂的空间曲面,如汽轮机叶轮、螺旋桨、汽车覆盖件冲压模具等复杂零件。