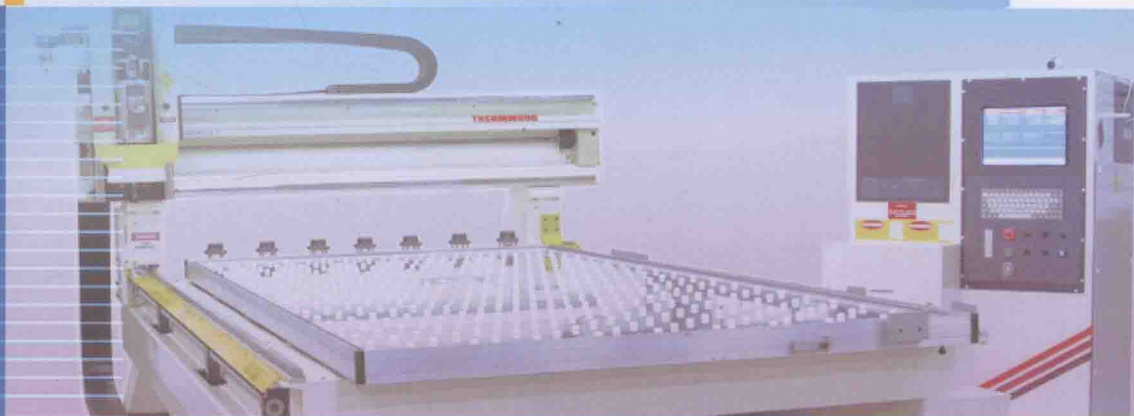




中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材

数控技术

■ 宋强 主编



中国石油大学出版社

SHUKONG JISHU

数控技术

宋 强 主编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/宋强主编. —东营:中国石油大学出版社,2011.1

中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材

ISBN 978-7-5636-2773-8

I. ①数… II. ①宋… III. 数控技术—高等教育: 远距离教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 011029 号

书 名: 数控技术
作 者: 宋 强

责任编辑: 袁超红
封面设计: 王凌波

出版者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com
印刷者: 青岛星球印刷有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532,0546—8392563)
开 本: 180×235 印张: 7.5 字数: 153 千字
版 次: 2011 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 11.50 元

中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材

编审委员会

主 任：张云祥

委 员：谢咏才 季汉成 张自强

杨淑亚 刘 超 邢晨辉

夏金玉 刘万忠 李 锋

出版说明

当代,以国际互联网普及应用为标志的信息化浪潮席卷全球,技术革命正越来越深刻地改变着人类的生产、生活和思维方式。尤其从20世纪下半叶起,以多媒体、计算机和互联网为主要标志的电子信息通讯技术引发了一场教育和学习方式的深刻变革。

现代远程教育就是利用计算机、计算机网络和多媒体等现代信息技术传授和学习知识的一种全新教育模式。自1999年始,我国现代远程高等教育遵循以成人从业人员为主要教育对象,以应用型、复合型人才为主要培养目标,在促进教育信息化、大众化,以及构建终身教育体系等方面积累了丰富的经验,取得了可喜的成效。目前,现代远程高等教育已经成为我国高等教育体系的重要组成部分,成为非传统高等教育的主力 and 骨干。在这种全新的教育教学模式下,教师通过以网络为主的沟通途径(渠道)实施导学、助学、促学和评价,而学生通过线上、线下的自主学习和协作学习,不断提高自身的知识和能力水平。

为使现代远程教育更好地适应成人学习的特点和需求,中国石油大学(北京)远程教育学院组织出版了这套《中国石油大学(北京)现代远程教育系列教材》。这些纸质教材既是网络课程的一个重要组成部分,与网络课程相辅相成,又可作为成人学习的主要读物独立使用。

这套教材的主编,多是本学科领域的学术带头人和教学名师,且具有丰富的远程教育经验。在编写过程中,编者力求做到知识结构严谨、层次清晰、重点突出、难点分散、文字通俗、分量适中,以体现教材的指导和辅导作用,引导学生在学的过程中做到学、思、习、行统一,充分发挥教材的置疑、解惑和

激励功能。在大家的共同努力下,这套系列教材较好地体现了我们的初衷:一是教育理念的先进性,遵循现代教育理念,使其符合学习规律和教改精神,体现以人为本、以学为本;二是内容的先进性,体现在科学性与教学性结合,理论性与实践性结合,前沿性与实用性结合,创新性与继承性结合;三是形式的先进性,体现在版式和结构的设计新颖、活泼。

我们期待着本丛书能够得到同行专家及使用者的批评和帮助。

编审委员会

2009年5月

■ Preface 前 言

21 世纪是一个经济全球化、科技国际化的世纪。伴随着现代微电子技术、信息技术、自动化技术、人工智能技术的迅猛发展,机械制造业的内涵发生了深刻的变化,传统机械制造技术已逐步过渡为现代先进制造技术。机械制造技术水平的高低已成为一个国家经济发展水平的重要标志,而我国当前机械制造技术与国际先进水平还有较大差距,亟需形成我国独立自主的现代制造技术体系。

数控技术是现代先进制造技术的基础和核心,其发展水平决定了机械制造业的先进程度,并关系国家战略地位。数控技术涉及的内容很多,包括数控加工程序编制、插补及刀补计算原理、计算机数控装置的软硬件结构、数控机床的检测装置和伺服驱动系统以及数控机床的机械结构等。如何取舍内容以符合成人教育的需要,是本书的突破点和创新点。本书编写强调“浅、精、新”的原则。“浅”就是内容要深浅适度;“精”就是要突出重点;“新”就是要跟踪学科前沿,尽量体现新思想、新理论和新技术。

本书以数控加工过程为主线进行编写,着重介绍计算机数控装置、数控编程、数控机床的伺服系统和机械结构等内容。书中注重理论联系实际,叙述力求通俗易懂,各章内容既有联系,又有一定的独立性。各章附有思考题,以利于读者对书中内容的理解。

本书可作为成人高等教育机电类专业的教材,也可供从事数控技术开发与应用的工程技术人员参考。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者不吝赐教,以便再版时修正和完善。

宋 强

2010 年 10 月



目 录

绪 论	1
第 1 章 数控技术基础	4
1.1 数控技术的基本概念	5
1.2 数控机床的分类	6
第 2 章 计算机数控装置	10
2.1 计算机数控装置的功能和结构	10
2.1.1 计算机数控装置的功能	11
2.1.2 计算机数控装置的硬件结构	12
2.1.3 计算机数控装置的软件结构	13
2.2 计算机数控装置的数据预处理	16
2.2.1 程序输入和译码	17
2.2.2 刀具半径补偿	17
2.3 计算机数控装置的插补原理	22
2.3.1 逐点比较插补	22
2.3.2 DDA 插补	30
2.3.3 比较积分插补	41
2.3.4 数据采样插补	46
第 3 章 数控编程	50
3.1 数控编程概述	50
3.2 数控加工坐标系	52

3.3	数控编程指令	53
3.3.1	数控加工程序组成结构	53
3.3.2	主要数控编程指令	53
第4章	数控机床的伺服系统和机械结构	62
4.1	伺服系统概述	63
4.2	开环伺服系统	63
4.2.1	步进电动机简介	63
4.2.2	步进电动机的性能指标	65
4.2.3	步进电动机的驱动控制线路	66
4.2.4	环形分配器	67
4.2.5	开环伺服系统的精度提高	69
4.3	闭环伺服系统	70
4.3.1	执行元件	70
4.3.2	检测装置	81
4.3.3	位置控制	86
4.4	数控机床的主运动和进给运动系统	89
4.4.1	数控机床的主运动系统	90
4.4.2	数控机床的进给运动系统	90
4.5	数控机床的自动换刀装置	93
参考答案	97
参考文献	107

绪 论

数控技术发展过程

世界上第一台数控机床诞生于1952年。1959年,数控装置广泛采用晶体管和印刷电路板,跨入第二代。1965年,数控装置利用小规模集成电路进一步提高了可靠性,跨入第三代。上述三代数控装置都是采用专用控制计算机的硬接线方式,统称为普通数控装置,简称NC(numerical control)。随着计算机技术的发展,小型计算机的性价比越来越高,许多数控功能可以编写成专用程序并存储在计算机中,这种数控装置具有更好的可靠性和功能特色,被称为第四代数控装置,即计算机数控装置,简称CNC(computer numerical control)。1970年,美国Intel公司开发出四位微处理器,从而使数控技术步入微处理器时代,即第五代数控装置,简称MNC(microcomputer numerical control)。

数控技术综合了自动控制、计算机、微电子、精密测量和机床结构等方面的最新成就。50多年来,国内外在数控加工领域的研究与开发不断取得新成果。其中,数控装置正向着集成化、智能化和模块化的方向发展,数控编程正向着图形化、自动化和宜人化的方向发展,而数控机床的伺服驱动装置也向着交流和数字化的方向发展。

我国从1958年开始研究数控加工技术,20世纪60年代针对壁锥、非圆齿轮等复杂形状的工件研制出了数控壁锥铣床、数控非圆齿轮插齿机等设备,保证了加工质量,提高了效率,取得了良好的效果。到1975年,我国已试制生产了40多个品种、300多台数控机床。1981年,我国从日本FANUC公司引进了5,7,3等系列的数控装置和直流伺服电动机技术,并在北京机床研究所建立了数控设备厂。1982年,青海第一机床厂生产的XHK754卧式加工中心,长城机床厂生产的CK7815数控车床、北京机床研究所生产的JCS018立式加工中心、上海机床厂生产的H160数控端面外圆磨床等,都能可靠地进行复杂零件的数控加工。到1985年,我国金属切削数控机床有了极大的发展,可以生产各种规格的立、卧式加工中心,立、卧式数控车床、数控铣床和数控磨床等。1984年,北京机床研究所成功研制出FMC-1和FMC-2柔性加工单元,之后又与FANUC公司合作,建立了第一条柔性制造系统(JCS-FMC-1型),用于加工直流伺服电动机的轴类、法兰盘类、刷架体类和壳体类的14种零件。近年来,我国已先后研制成功并在北京、长春等地安装使用了FMS(flexible manufacture system)。这说明我国数控技术已经进入了一个崭新的发展时期,预计在不远的将来能够赶上世界先进国家的水平。

数控技术课程介绍

数控技术是研究数控加工原理及其应用技术的综合性专业课程,是工科高等院校机械制造及自动化专业的专业必修课。数控技术涉及多门学科的内容,融合了当今许多最先进的科学技术,具有技术含金量高、涉及知识面广、综合性强、生产应用广泛等特点。数控技术课程不仅能使学生掌握数控加工原理,还能使学生综合应用许多基础知识和专业知识,培养学生综合应用知识的能力,使其具备数控编程、数控加工等方面的高级技能。

本课程学习内容主要包括数控机床的组成与分类、数控加工程序编制、插补及刀补计算原理、计算机数控装置的软硬件结构、数控机床的检测装置和伺服驱动系统以及数控机床的机械结构等。通过本课程的学习,学生应掌握数控加工原理,学会编写简易数控加工程序,加深对数控机床主体结构(如计算机数控装置、伺服系统和机械结构)的认识和了解。

本课程的重点内容包括数控加工的插补与刀补计算原理、伺服系统的控制原理以及数控加工编程。其中,插补与刀补计算原理和伺服系统的控制原理是本课程的难点。

本课程的学习涉及微机原理、计算机操作系统、传感器原理、模拟电路及数字电路、电动机及其驱动、自动控制系统等多门知识。教学课时少与课程知识面广的矛盾非常突出,要使学生有限学时内将这些知识融会贯通具有非常大的难度。另外,数控技术的发展日新月异,为使教学内容具有先进性和实用性,需要补充大量的内容,这使得教学内容多与课时少之间的矛盾更为突出。为此,本课程按数控加工流程将课程内容分为数控技术基础模块、计算机数控装置模块、数控编程模块、伺服系统模块和机械结构模块五大知识模块,采用言简意赅、深入浅出的介绍方式,并配备大量的例题和课后习题,以便于学生对数控技术知识的理解和掌握。

本课程的教学内容和课时安排(共 32 学时)如下:

第 1 章 数控技术基础(2 学时)

1.1 数控技术的基本概念(1 学时)

1.2 数控机床的分类(1 学时)

第 2 章 计算机数控装置(11 学时)

2.1 计算机数控装置的功能和结构(2 学时)

2.1.1 计算机数控装置的功能(0.5 学时)

2.1.2 计算机数控装置的硬件结构(0.5 学时)

2.1.3 计算机数控装置的软件结构(1 学时)

2.2 计算机数控装置的数据预处理(2 学时)

2.2.1 程序输入和译码(0.5 学时)

2.2.2 刀具半径补偿(1.5 学时)

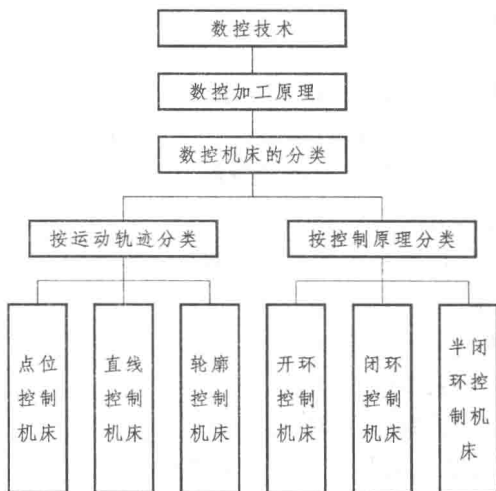
- 2.3 计算机数控装置的插补原理(7 学时)
 - 2.3.1 逐点比较插补(2 学时)
 - 2.3.2 DDA 插补(2 学时)
 - 2.3.3 比较积分插补(2 学时)
 - 2.3.4 数据采样插补(1 学时)
- 第 3 章 数控编程(4 学时)
 - 3.1 数控编程概述(0.5 学时)
 - 3.2 数控加工坐标系(0.5 学时)
 - 3.3 数控编程指令(3 学时)
 - 3.3.1 数控加工程序组成结构(0.5 学时)
 - 3.3.2 主要数控编程指令(2.5 学时)
- 第 4 章 数控机床的伺服系统和机械结构(15 学时)
 - 4.1 伺服系统概述(0.5 学时)
 - 4.2 开环伺服系统(3.5 学时)
 - 4.2.1 步进电动机简介(1 学时)
 - 4.2.2 步进电动机的性能指标(0.5 学时)
 - 4.2.3 步进电动机的驱动控制线路(0.5 学时)
 - 4.2.4 环形分配器(1 学时)
 - 4.2.5 开环伺服系统的精度提高(0.5 学时)
 - 4.3 闭环伺服系统(8 学时)
 - 4.3.1 执行元件(4 学时)
 - 4.3.2 检测装置(2 学时)
 - 4.3.3 位置控制(2 学时)
 - 4.4 数控机床的主运动和进给运动系统(1.5 学时)
 - 4.4.1 数控机床的主运动系统(0.5 学时)
 - 4.4.2 数控机床的进给运动系统(1 学时)
 - 4.5 数控机床的自动换刀装置(1.5 学时)

第 1 章 数控技术基础

【预期目标】

通过本章学习,掌握数控技术概念,明确数控加工原理,区分点位控制、直线控制和轮廓控制数控机床,区分开环控制、闭环控制和半闭环控制数控机床,理解数控机床的特点和适用领域。

【知识结构框图】



【学习提示】

结合数控机床的零件加工过程来理解数控技术的概念和数控加工的原理,并据此掌握数控机床的结构组成、特点和使用范围。从刀具运动过程是否切削、刀具运动速度是否可控、刀具运动轨迹是否可控等方面比较点位控制、直线控制和轮廓控制数控机床的特点。从有无检测反馈装置、检测装置安装位置、控制精度、控制稳定性等方面比较开环控制、闭环控制和半闭环控制数控机床的特点。

【问题导因】

数控机床是如何将一件毛坯加工成符合图纸设计要求的零件的?数控机床的加工过程与普通机床的加工过程有何不同?

1.1 数控技术的基本概念

1) 数控技术与数控机床

数控即数字控制,是采用数字化信息实现自动化控制的技术。数控技术(numerical control technology)主要应用于机械加工领域,即采用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制。

数控技术最典型的产品是数控机床。

数控机床的零件加工过程与普通机床完全不同。在普通机床的零件加工过程中,刀具的安装、零件的装卡和测量、进给速度的调整都由工人手动完成,因此零件的加工质量受人为因素影响较大。而在数控机床的零件加工过程中,上述操作基本由数控机床按照数控程序自动完成,因此零件的加工质量比较稳定,只与数控机床本身和数控程序有关。此外,数控机床和普通机床在外观上也存在较大差异,例如数控机床利用控制面板代替普通机床的各种操作手柄,数控机床一般具有防护罩和自动换刀装置等。

2) 数控机床的加工原理

数控机床的加工原理(数控技术的控制过程)如图 1-1 所示。

(1) 根据被加工零件图样所规定的零件形状、尺寸、材料及技术要求等,确定零件的工艺流程、工艺参数、几何参数、切削用量等,然后根据数控机床规定的代码和程序格式将这些内容编写成数控加工程序。

(2) 将零件加工程序、控制参数、补偿数据等输入到数控装置中。

(3) 数控装置对输入的数控加工程序进行分析处理(如译码、刀具补偿、插补等),并输出控制指令。

(4) 伺服系统接受数控装置的指令,驱动机床机械运动部件按规定的轨迹和速度进行零件加工。



图 1-1 数控机床的加工原理

3) 数控机床的结构组成

根据数控机床的加工原理,可以看出数控机床一般由输入/输出设备、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床本体组成,如图 1-2 所示。

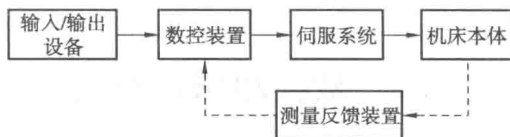


图 1-2 数控机床的结构组成

输入设备主要实现程序编制、程序和数据的输入。输入设备已从早期的纸带穿孔机、纸带阅读机发展到现在的磁带、磁盘读入器,人机对话操作键盘和自动编程机或计算机辅助设计/计算机辅助制造(CAD/CAM)系统。输出设备实现数控加工过程的显示以及加工信息的存储和打印。输出设备主要包括发光二极管(LED)显示器、视频信号显示器(CRT)以及绘图打印设备。

数控装置是数控机床的核心装置。数控装置接受输入设备的程序和数据,对输入信息进行翻译、运算和判断,并输出控制指令给伺服系统,从而控制机床部件的运动。数控装置已由早期的硬件数控发展到现在的计算机数控装置。数控装置的核心功能包括多坐标控制功能,插补功能,程序输入、编辑和修改功能,刀具补偿功能,辅助功能,故障自诊断功能,通讯和联网功能等。

伺服系统包括伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机等。常用的伺服电动机包括步进电动机、电液马达、直流伺服电动机、交流伺服电动机等。

采用闭环控制的数控机床还具有测量反馈装置。测量反馈装置由测量器件和测量电路组成,用于检测机床运动部件的速度和位移,并将检测信息反馈给数控装置,从而构成闭环控制系统。

机床本体是数控机床的机械部分,是数控机床的主体,包括床身、立柱、主轴、进给机构、自动换刀装置等。

4) 数控机床的特点

与普通机床相比,数控机床具有如下特点:

(1) 数控机床具有多坐标联动功能,可按零件加工的要求变换加工程序,因此对零件的适应性强,灵活性好,能完成普通机床难以胜任或根本不可能加工出来的复杂零件。

(2) 由于数控机床按照数控加工程序自动加工,不受人为主观因素的影响,还可利用软件来校正和补偿误差,因此零件加工精度高,生产质量稳定。

(3) 数控机床能合理选用切削用量,机加工时间短,而且加工准备时间和停机检测次数少,因此生产率比普通机床高。对于某些复杂零件的加工,数控机床的生产率可提高几十倍。

(4) 数控机床主要是自动加工,不仅改善了工人的劳动条件,还能准确计算零件加工时间,便于实现生产计划调度。此外,数控机床通过通信接口可组成工业局部网络(LAN),可实现生产过程的计算机管理与控制。

由上述特点可见,数控机床适合加工中小批量、精度要求高、形状复杂、需频繁改型的零件。

1.2 数控机床的分类

数控机床种类繁多,功能各异,可以从不同的角度对其进行分类。

1) 按工艺用途分类

数控机床按工艺用途可分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床和特种加工类数控机床。

金属切削类数控机床是指采用车、铣、钻、镗、铰、磨、刨等切削工艺的数控机床,包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床以及各类加工中心,是数控机床的主要类型。

金属成形类数控机床是指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床,包括数控折弯机、数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机等。

特种加工类数控机床是指采用激光加工、电火花加工、线切割、火焰切割等特殊加工方式实现零件加工的数控机床。

2) 按加工运动轨迹分类

数控机床按加工运动轨迹可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

点位控制数控机床只要求刀具能准确到达目标位置,对刀具在运动过程中的运动轨迹和运动速度不做控制要求,而且刀具在运动过程中不切削。刀具在运动过程中一般先沿一个坐标方向运动,再沿另一个坐标方向运动到目标位置。为保证点位控制精度并减少运动时间,刀具一般先高速运动,当接近目标位置时再减速趋近目标位置。数控钻床、数控镗床、数控冲床都属于点位控制数控机床。

直线控制数控机床不仅要保证点与点之间的准确定位,而且还要控制刀具在两点之间的运动轨迹和运动速度。刀具一般沿平行于坐标轴的方向做直线运动,而且刀具在运动过程中要切削加工。简易数控车床、简易数控铣床都属于直线控制数控机床。

轮廓控制数控机床能同时控制两个或两个以上坐标轴的运动(多轴联动),能对刀具运动位置和运动速度进行严格的、不间断的控制,可以加工曲面、叶轮等复杂形状的零件。大部分数控机床都属于轮廓控制数控机床。

3) 按控制原理分类

数控机床按控制原理可分为开环控制数控机床、闭环控制数控机床和半闭环控制数控机床。

开环控制数控机床(图 1-3)没有位置检测装置,伺服驱动部件一般选用步进电动机。受步进电动机步距精度、工作频率以及传动机构传动精度的影响,开环控制数控机床的速度和精度都较低,但由于结构简单、成本低廉、调试维修方便,所以仍被广泛应用于经济型、中小型数控机床。

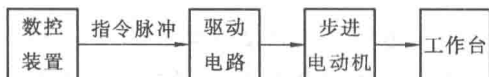


图 1-3 开环控制数控机床

闭环控制数控机床(图 1-4)利用检测装置直接测量工作台的实际位置,并将其与数控装置发出的指令位置相比较,得到的偏差经过放大和变换,用于驱动工作台向减小偏差的方向运动。闭环控制数控机床能够消除包括工作台传动链在内的误差,因而定位精度高、速度调节快。但由于控制环包含了大惯量的工作台,因此系统调试非常困难。闭环控制数控机床主要应用于对精度要求很高的超精车床和超精铣床。

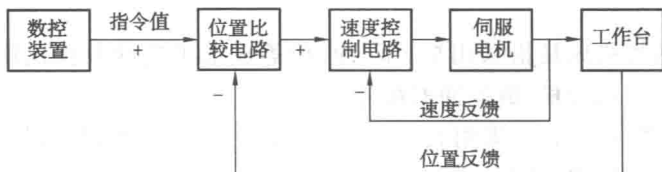


图 1-4 闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床(图 1-5)与闭环控制数控机床的区别在于检测装置安装在电动机端或丝杠端。由于实际位置的反馈值是通过间接测量的角位移换算得来的,因此控制精度不如闭环控制数控机床。但由于将大惯量的工作台排除在控制系统外,因此系统调试方便,被广泛应用于各类数控机床。

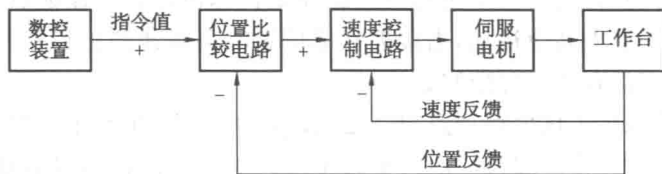


图 1-5 半闭环控制数控机床

4) 按配置功能分类

数控机床按配置功能可分为经济型数控机床、普通型数控机床和高级型数控机床。

经济型数控机床采用 16 位微处理器和步进电机驱动,进给分辨率为 $10\ \mu\text{m}$,进给速度为 $6\sim 8\ \text{m}/\text{min}$,联动轴数 ≤ 3 ,功能简单,自动化程度低。

普通型数控机床采用 16 位(或 32 位)微处理器和交流(或直流)伺服驱动,进给分辨率为 $1\ \mu\text{m}$,进给速度 $\leq 24\ \text{m}/\text{min}$,联动轴数 ≤ 4 ,具有人机对话功能。

高级型数控机床采用 32 位微处理器和交流伺服驱动,进给分辨率为 $0.1\ \mu\text{m}$,进给速度 $> 24\ \text{m}/\text{min}$,联动轴数 ≤ 5 ,具有通信、联网、监控管理等功能。

【要点回顾】

- 数控技术:采用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制的自动化技术。
- 数控机床加工原理:首先根据数控机床规定的代码和程序格式将零件的尺寸、工艺等信息编写成数控加工程序,然后将数控程序输入数控装置中,由数控装置完成加工信息的分析处理并向伺服系统输出控制指令,以驱动机床机械运动部件完成零件加工。