

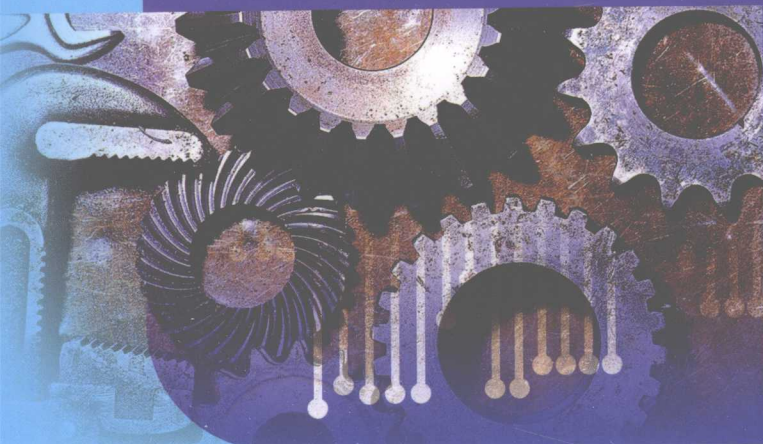
21 世纪高职高专机械类实训教材

机械零件数控加工

JIXIE LINGJIAN

SHUKONG JIAGONG

主 编 李卫民 张亚萍 黄淑琴
主 审 秦松祥



 中国人民大学出版社

21 世纪高职高专机械类实训教材

机械零件数控加工

主 编 李卫民 张亚萍 黄淑琴
主 审 秦松祥

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机械零件数控加工/李卫民等主编

北京: 中国人民大学出版社, 2009

21 世纪高职高专机械类实训教材

ISBN 978-7-300-10772-1

I. 机…

II. 李…

III. 机械元件-数控机床-加工-高等学校: 技术学校-教材

IV. TH13 TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 088980 号

21 世纪高职高专机械类实训教材

机械零件数控加工

主编 李卫民 张亚萍 黄淑琴

主审 秦松祥

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511398 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京东君印刷有限公司

规 格 185mm × 260mm 16 开本

版 次 2009 年 9 月第 1 版

印 张 16.5

印 次 2009 年 9 月第 1 次印刷

字 数 392 000

定 价 27.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

出版说明

随着数控技术、电气自动化等技术的迅速发展以及机电加工设备数量的急剧增长,我国制造类企业急需大批机电类技术人才,而目前在劳动力市场上,这种高等技术应用型人才严重短缺。为此,2003年教育部会同劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部等联合启动了“职业院校制造业和现代服务业技能紧缺型人才培养培训工程”,明确了高等职业教育的根本任务就是要从劳动力市场的实际需要出发,坚持以就业为导向,以全面素质为基础,以能力为本位,努力造就数以千万计的制造业和现代服务业一线迫切需要的高素质技能型人才。

大量培养高技能型人才中的一个重要基础问题就是教材建设。为了适应机电类高职教育迅速发展的形势,中国人民大学出版社依托教育部高等职业教育机电类专业的专家指导,进行了广泛的调研,期望探索出建设符合高职教育教学模式、教学方式、教学改革教材的新路子。中国人民大学出版社先后组织全国20多所高职院校的院系领导及骨干教师召开了多次教材建设研讨会,对机电类具有工学结合特色的高职教材的编写指导思想,以及教材的定位、特色、名称、内容、篇幅进行了充分的论证,成立了中国人民大学出版社机电类专业规划教材编委会以及机电类教材建设专家指导委员会,组织出版高等职业教育机电类专业系列教材。

根据高等技术应用性人才培养目标,本套教材既具有高等教育的知识内涵,又具有职业教育的职业能力内涵,主要体现了以下特色:

1. 以综合素质为基础,以能力为本位。本套教材把提高学生能力放在突出的位置,符合教育部机电类专业教学基本要求和人才培养目标,注重创新能力和综合素质培养。
2. 以社会需求为基本依据,以就业为导向。本套教材以机电类企业的生产需求为依据,体现工学结合的特色,明确职业岗位对职业核心能力的要求,重点培养学生的技术运用能力和岗位工作能力。
3. 反映了机电领域的新知识、新技术、新工艺、新方法。本套教材注意克服以往专业教材中存在的陈旧、更新缓慢的弊端,选择了目前最新的控制系统为典型实例,采用了最新的国家标准及相关技术标准。
4. 贯彻学历教育与职业资格证书、技能证考试相结合的精神。本套教材把职业资格证书、技能证考证的知识点与教材内容相结合,将实践教学体系与国家职业技能鉴定标准实行对接,使学生在学校学习的同时,也能顺利地获得职业资格证书。
5. 教材体系立体化。为了方便教师教学和学生自主学习,本套教材配备了电子课件、电子教案、教学指导、题库、案例素材等教学资源,并将配备相应的教学支持服务平台。

在本套教材的研发与编写过程中,要感谢诸多专家、领导,感谢他们对机电类专业

业规划教材研发所投入的大量精力，同时要感谢关注高等职业教育、参加本套教材研发与编写的各位老师，我们希望能够得到大家一如既往的支持，为我国的高等职业教育发展作出更大的贡献。

中国人民大学出版社

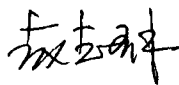
总 序

制造业在国民经济中占有举足轻重的地位，世界上具有重要影响力的国家无一不是制造业强国。制造业的持续发展是我国实现新型工业化的重要组成部分，是今后很长时期带动我国国民经济发展的火车头。中国要想成为制造业强国，目前还面临很多困难，其中很重要的一个就是缺乏高素质专业人才，包括相对稳定的、掌握先进生产技术的技能型人才，而以精益生产为代表的先进制造模式，是将柔性制造技术、高素质劳动者以及企业内部和企业之间的灵活管理方式集成在一起，对技能型人才的工作能力又提出了新的要求。

近年来，我国加工制造类职业教育取得了较大发展，中、高等职业院校加工制造类专业学生总数不仅逐年增加，而且占学生总数的比例也在增加。制造类职业教育取得的进步，特别是数量上的发展，为我国实现走向制造业大国的阶段性战略目标奠定了基础。然而，制造类职业教育还存在着很多问题，特别是在教育质量方面，主要表现在课程设置、教学内容选择、教学设计以及教材建设上没有充分考虑企业需求和学生的职业发展规律；教学不能满足企业技术进步和劳动组织发展需要等方面，这已经成为困扰职业教育教学质量提高的瓶颈。因此，加强课程和教材建设，已经成为众多职业院校教育教学工作的重要内容。

职业院校以市场和需求为导向的课程和教材建设，应当从专业所面向的职业工作任务和岗位要求出发，明确培养规格和关键能力要求，从而为学生的职业生涯发展奠定良好的基础，这不论是在理论上还是实践上都面临着巨大的挑战。这里不仅要引入先进的职业教育理念，需要丰富的专业实践经验，而且需要把先进、实用的技术有针对性地与职业院校的教学工作有机结合起来。在此，这套由中国人民大学出版社组织编写的针对机械制造、数控、自动化等专业的“21世纪高职高专规划教材”都进行了有益的探索。希望这套教材的出版不但能帮助职业院校更快、更好、更容易地培养出社会所紧缺的技能型人才，而且也能为我国职业教育的教学改革提供有价值的经验。

北京师范大学 技术与职业教育研究所所长



前 言

“机械零件数控加工”是数控技术及相关专业的核心课程之一，其目标是培养学生具有一定的数控加工工艺编制能力，数控车、铣和加工中心的编程能力，并在课程中培养学生的职业道德和劳动观念，为今后的学习及从事本职业岗位的工作奠定基础。

本书从培养职业技术型人才的目出发，在内容编写上，我们严格按照项目教学法要求，每个项目围绕一个典型零件，以能力培养为中心，基础知识以够用为原则。在体现必要基础知识的前提下，以来自生产一线的案例为项目载体，将数控加工工艺知识、复杂编程指令和职业技能鉴定内容融入其中，将数控加工工艺路线的制定——工件的装夹——刀具的选择与安装——切削参数的确定——走刀路线的制定——加工程序的编制相结合。

本书共分为 12 个模块，包括数控加工技术基础，数控编程基础，数控加工工艺基础，阶梯轴零件的加工，成型面零件的加工，套类零件的加工，内、外螺纹的加工，子程序和宏程序，轮廓加工，型腔零件加工，孔加工，复杂零件加工等，使学生能快速了解和掌握数控加工的知识和技能，并且能够贴近企业的生产实际过程，有较强的实用性和先进性。

本书由泰州职业技术学院李卫民、张亚萍、黄淑琴主编，泰州职业技术学院秦松祥主审。李卫民编写模块 1、2、3，张亚萍编写模块 4、5、6、7、8，黄淑琴编写模块 9、10、11、12。

由于编者水平有限，书中可能存在一些疏漏和不妥之处，希望各位同人和读者在使用本书时多提宝贵意见。

编 者

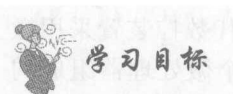
2009 年 5 月

目 录

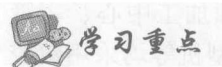
模块 1 数控加工技术基础	1
项目 1.1 数控机床的产生与发展	1
项目 1.2 数控机床工作原理及组成	2
项目 1.3 数控机床的分类	4
项目 1.4 数控机床的特点和应用范围	7
项目 1.5 数控系统的主要功能	8
项目 1.6 数控加工工艺的特点	10
项目 1.7 数控加工技术的主要应用对象	11
项目 1.8 数控编程技术	11
项目 1.9 数控技术的发展趋势	12
知识小结	13
模块 2 数控编程基础	15
项目 2.1 数控程序编制的概念	15
项目 2.2 数控机床的坐标系	20
项目 2.3 数控编程中的数值计算	27
项目 2.4 实训内容	32
知识小结	33
模块 3 数控加工工艺基础	35
项目 3.1 刀具材料及选用	35
项目 3.2 常用数控加工刀具及选用	39
项目 3.3 数控机床夹具	56
项目 3.4 数控车削加工工艺	71
项目 3.5 数控铣削和加工中心加工工艺	84
知识小结	98
模块 4 阶梯轴零件的加工	99
项目 4.1 简单阶梯轴零件的加工	99
项目 4.2 锥度轴零件的加工	120
知识小结	133
模块 5 成型面零件的加工	134
项目 5.1 简单成型面零件的加工	134
项目 5.2 复杂成型面零件的加工	143
知识小结	155
模块 6 套类零件的加工	156

项目 6.1 简单套筒零件的加工	156
项目 6.2 复杂套类零件的加工	164
知识小结	177
模块 7 内、外螺纹的加工	178
项目 7.1 外螺纹的加工	178
项目 7.2 内螺纹的加工	191
知识小结	195
模块 8 子程序和宏程序	196
项目 8.1 外沟槽的加工	196
项目 8.2 椭圆轴的加工	200
知识小结	207
模块 9 轮廓加工	208
项目 9.1 平面的加工	208
项目 9.2 二维轮廓加工	211
项目 9.3 平面外轮廓加工	215
知识小结	220
模块 10 型腔零件加工	221
10.1 工作任务	221
10.2 相关知识	222
10.3 工艺分析和操作要点	224
知识小结	226
模块 11 孔加工	227
项目 11.1 钻孔加工	227
项目 11.2 铰孔加工	231
项目 11.3 镗孔加工	238
项目 11.4 螺纹加工	242
知识小结	246
模块 12 复杂零件加工	247
12.1 工作任务	247
12.2 相关知识	248
12.3 参考程序	248
知识小结	251
参考文献	252

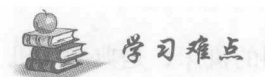
模块 1 数控加工技术基础



1. 了解适合数控机床的产生与发展。
2. 熟悉数控机床工作原理及组成。
3. 掌握数控编程技术的方法。
4. 了解数控机床的特点，认识数控机床应用范围，了解各类数控机床的特点和数控加工的发展现状。
5. 了解数控加工工艺的特点。



1. 数控加工技术的产生与发展。
2. 数控编程的内容。
3. 数控加工的特点。
4. 数控加工工艺的特点。



数控机床的加工原理。

数控机床是一种高效的自动化加工设备，它严格按照加工程序，自动地对工件进行加工。我们将从数控系统外部输入的直接用于加工的程序称为数控加工程序，简称为数控程序，它是机床数控系统的应用软件。编制数控加工程序是使用数控机床的一项重要技术工作，理想的数控程序不仅应该保证加工出符合零件图样要求的合格零件，还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥，使数控机床安全、可靠、高效地工作。

项目 1.1 数控机床的产生与发展

数字控制（Numerical Control, NC）是用数字化信号进行控制的一种方法。

1947 年，美国的 Parsons 公司为了提高生产飞机零件的靠模和机翼检查样板的精度及效率，提出了用穿孔卡来控制机床的设想；后与 MIT（麻省理工学院）合作，于 1952 年

研制出了世界上第一台试验性的数控立铣床，其控制装置由真空管组成。1954 年 Parsons 公司生产出了第一台工业用的数控机床，1955 年投产了 100 台类似产品。这些数控机床在复杂曲面零件加工中发挥了很大的作用。

半个世纪以来，随着自动控制技术、微电子技术、计算机技术、精密测量技术及机械制造技术的迅速发展，数控机床也得到了快速发展，产品不断更新换代，品种不断增多。就数控装置而言，大致经历了以下几个发展过程：第一代数控装置由真空管组成；第二代数控装置采用晶体管和印刷电路；第三代数控装置采用小规模集成电路，并出现了直接数控（Direct Numerical Control, DNC）控制方式；第四代数控装置采用大规模集成电路及小型通用计算机控制，称为计算机数控（Computerized NC, CNC）；第五代数控装置采用微型计算机或微处理机（Microcomputer NC, MNC）。现在，大多采用多个微处理器组成的微型计算机作为数控装置的核心，数控装置的各项功能被分配到各个微处理器中，在主微处理器的统一控制和管理下，数控装置并行、协调地工作，使数控机床向高精度、高速度方向发展。

我国于 1958 年开始研制数控机床，“七五”期间，取得了长足的发展。此后，采取自主开发中、高档数控系统与购买国外先进数控系统相结合的方针，加速了我国数控机床生产的发展和使用水平的提高。数控机床的产品已覆盖了车、铣、镗、钻、磨、齿轮加工、线切割加工、电火花加工等机床。另外，各种机电产品或设备，如加工中心、弯管机、火焰切割机、三坐标测量机、工业机器人、绘图机以及激光快速成型机等均采用数控技术原理进行控制，数控机床产品的品种已达 300 种。

项目 1.2 数控机床工作原理及组成

数控机床是采用数控技术对工作台运动和切削加工过程进行控制的机床，是典型的机电一体化产品，是数控技术的最典型应用。

1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由零件加工程序、输入装置、数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置、检测反馈装置、机床本体等 7 部分组成，其中数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置、检测反馈装置又合称为数控系统。

实际上，零件加工程序并非数控机床的物理组成部分，但从逻辑上讲，数控机床加工过程必须按数控加工程序的规定进行，数控加工程序是数控机床加工的一个重要环节，因此通常将数控加工程序作为数控机床的一个组成部分。

1. 输入装置

数控机床的零件加工程序是通过程序输入装置输入数控机床的。输入装置与输入方法有关。

(1) 控制介质输入。

所谓控制介质就是零件加工程序的存储介质，即程序载体。通常程序载体有穿孔纸带、磁带、磁盘、光盘等，与之相应的输入装置为光电纸带阅读机、录音机、磁盘驱动器、光驱等。早期的数控机床常用穿孔纸带存储加工程序，即在特制的纸带上穿孔，不同

位置的孔的组合构成不同的数字或数控代码。通过光电纸带阅读机将纸带上的零件加工程序转换为相应的二进制代码输入数控装置中的存储器。虽然现在很多数控机床仍附带有纸带阅读机、磁带录音机，但由于微型计算机的普遍使用，穿孔纸带和磁带控制介质的应用已越来越少。

(2) 手工输入。

利用键盘输入控制机床运动和刀具运动的指令。具体有以下三种情况：

1) 手动数据输入 (Manual Data Input, MDI)，通过数控系统操作面板上的相应按键，把数控程序指令逐条输入存储器中。一般这种方法只适用于较为简短的程序。

2) 在数控显示的程序编辑界面，通过数控系统操作面板上的相应按键，输入程序指令并存入内存。用这种方法还可以调出已存入的数控程序并对其进行编辑修改。

3) 在具有对话功能的数控装置上，根据软件的逻辑格式和显示屏上的对话提示，选择不同的菜单，输入有关的数字和信息后，可自动生成控制程序并存入内存。这种方法虽然是手工输入，但却是自动编程。

(3) 通信方式输入存储器。

从自动编程机、计算机或网络上，通过通信接口将编制好的数控加工程序直接输入数控装置的存储器中。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心部件，由硬件和软件两大部分组成。硬件包括通用 I/O 接口、CPU、存储器、可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 和数字通信接口等；软件包括管理软件和控制软件。管理软件用来管理零件程序的输入/输出，显示零件程序、刀具位置、系统参数和报警，诊断数控装置是否正常并检查故障原因；控制软件则完成译码、插补运算、刀具补偿、位置控制等。

数控装置的主要功能为读入数值并存储、对程序进行译码和数据处理、插补运算、位置控制和 I/O 处理，产生指令控制机床各部件协调运动，按确定的顺序和设定的条件完成零件加工。

辅助控制装置是介于数控装置和机床的机械与液压部件之间的各种开关执行电器的控制装置。主要实现各种辅助功能控制，如机床的启/停、换刀、冷却液开/关等控制，目前由数控装置内置的可编程序控制器来实现。

3. 伺服驱动装置

伺服驱动系统由驱动装置、执行机构和位置、速度检测反馈装置三个部分组成。伺服电机是伺服系统的执行机构，驱动装置则是伺服电机的动力源。来自数控装置的控制指令脉冲经伺服驱动装置进行功率放大，驱动伺服电机，进而通过机械传动装置带动机床主轴、工作台或刀架等机床运动部件运动，输入为电信号，输出为机床的位移、速度和力。

4. 机床本体

机床本体是实现切削加工的主体，对加工过程起支撑作用。数控机床的精度、刚性、抗震性、低速运动平稳性、热稳定性等主要性能均取决于机床本体。数控机床的机械部件包括：主运动部件，进给运动执行部件（如工作台、拖板）及传动部件，床身、立柱等支承部件，此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，

设有存放刀具的刀库、刀具交换装置等部件。数控机床的机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构要求更为简单，在精度、刚度、抗震性等方面要求更高，而且其传动和变速系统要便于实现自动控制。

1.2.2 数控机床的工作原理

当我们使用机床加工零件时，通常需要对机床的各种动作进行控制，一是控制动作的先后次序，二是控制机床各运动部件的位移量。采用普通机床加工时，这种开车、停车、走刀、换向、主轴变速和开关切削液等操作都是由人工直接控制的。采用自动机床和仿形机床加工时，上述操作和运动参数则是通过设计好的凸轮、靠模和挡块等装置以模拟量的形式来控制的，虽然能加工比较复杂的零件，且有一定的灵活性和通用性，但是零件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响，而且工序准备时间也较长。

采用数控机床加工零件时，只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成程序代码输入到机床控制系统中，再经运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号，从而控制机床各部件协调动作，自动地加工出零件。当更换加工对象时，只需要将重新编写的程序代码输入机床，即可由数控装置代替人的大脑和双手，控制加工的全过程，制造出任意复杂的零件。

数控机床的控制系统通常按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和变速，自动控制进给速度、方向和加工路线进行加工，根据刀具尺寸调整吃刀量和行走轨迹，完成加工中所需要的各种辅助动作。

项目 1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，分类方法不一。根据数控机床的功能和组成，可以从如下几个不同的角度进行分类。

1.3.1 按数控机床的加工工艺分类

1. 普通数控机床

根据数控机床的加工工艺不同，并与传统机床的称谓相对应，可将普通数控机床分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床等。

2. 加工中心机床

将多种加工工艺内容集中在同一台机床上实现，并具有刀库和自动换刀装置，可在工件一次装卡后连续自动地完成铣削、钻削、镗削、铰孔、扩孔、攻丝等多道工序的加工，这样的数控机床称为加工中心（Machining Center, MC）。常见的加工中心机床有车削加工中心和钻铣镗加工中心。

3. 特种加工机床

特种加工机床有数控电火花、数控线切割、激光快速成型机、数控等离子切割、火焰切割等。

4. 其他

还有采用数控技术的其他设备如三坐标测量机、工业机器人、数控绘图仪等。

1.3.2 按控制系统的功能特点分类

按数控机床运动轨迹的控制方式可将数控机床分为点位控制、点位直线控制和轮廓控制三类。

1. 点位控制 (Point to Point Control)

点位控制的数控机床的特点是,只要求控制刀具相对于工件在机床加工平面内从某一加工点运动到另一加工点的精确坐标位置,而对两点之间的运动轨迹原则上不加以控制,且在运动过程中不做任何加工。典型的点位控制数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。这类机床无需插补器,基本要求是定位精度、时间和移动速度,对运动轨迹并无精度要求。为了精确定位和提高定位速度,运动开始时,移动部件首先高速运动,在到达定位终点前减速以实现慢速接近定位点并最终准确定位。

2. 点位直线控制 (Straight Line Control or Paraxial Control)

点位直线控制的数控机床又简称为直线控制的数控机床。这类数控机床不仅可以控制刀具或工作台(确定由一个位置点到另一个位置点的精确坐标位置),还可以控制它们以给定的速度沿着平行于某一坐标轴方向做直线运动,并在移动的过程中进行加工。这类数控系统可控制刀具或工作台两个坐标同时以相同的速度运动,从而加工出与坐标轴成 45° 的斜线。典型的点位直线控制的数控机床如简单的具有外圆、端面和 45° 锥面加工的数控车床。

3. 轮廓控制 (Contour Control)

轮廓控制也称连续控制。这类机床的特点是,不仅要求刀具相对于工件在机床加工空间内从一点运动到另一点的精确坐标位置,而且要求对两点之间的运动轨迹和轨迹上每一点的运动速度以进行精确控制,且能够边移动边加工。典型的连续控制数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等。这类机床用于加工二维平面轮廓或三维空间轮廓。它的数控系统带有插补器,以精确实现各种曲线或曲面。能够进行连续控制的数控机床,通常也能进行点位控制和点位直线控制。

1.3.3 按伺服系统的功能特点分类

按所采用的伺服系统控制方式不同,可将数控机床分成开环、闭环和半闭环三类。

1. 开环控制数控机床

开环控制系统是指不带位置反馈装置的数控机床,伺服系统由步进驱动和步进电机组成。机床的工作精度取决于步进电机的传动精度以及变速机构、丝杠等机械传动部件的精度。

开环控制的数控机床具有结构简单、系统稳定、容易调试、成本低等优点,但是系统对移动部件的误差没有补偿和校正,所以精度低,一般适用于经济型数控机床和旧机床数控化改造。

开环控制数控机床的部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床有位置和速度的检测装置,并且直线位移检测装置直接装在机床移动部件(如工作台)上,将测量的结果直接反馈到数控装置中,与输入指令进行比较控制,使移动部件按照指令要求运动,最终实现精确定位。因为把机床工作台纳入了位置控

制环，故称为闭环控制系统。

闭环控制数控机床的伺服系统由交流（或直流）伺服驱动和交流（或直流）伺服电机组成。与伺服电机同轴刚性连接的测速器件，随时检测电机转速并将其反馈至数控系统，与速度指令信号进行比较，控制电机的转速。该系统定位精度高、调节速度快，但系统调试困难，结构复杂且成本高，故适用于精度要求很高的数控机床，如精密数控镗铣床、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也有位置和速度的检测装置，只是角位移检测装置安装在交流或直流伺服电机的输出轴上，通过检测角位移间接地检测移动部件的位移，并反馈到数控系统中。由于惯性较大的机床移动部件不包括在控制环中，因而称作半闭环控制系统。

由于系统闭环环路内不包括机械传动环节，可获得稳定的控制特性。另外，机械传动环节的误差可用误差补偿的办法消除，因此可获得满意的精度。半闭环控制数控机床精度较高，安装调试方便，广泛应用于各种数控机床中。

1.3.4 按数控机床功能强弱分类

按数控机床功能强弱可将数控机床分为经济型数控机床、全功能型数控机床和高档型数控机床。

1. 经济型数控机床

经济型数控机床又称简易数控机床，主要采用功能较弱、价格低廉的经济型数控装置，多为开环控制，机械结构与传统机床机械结构差异不大，刚度与精度均较低。由于这类机床经济性好，因此在我国中小企业中应用广泛。目前国产数控仪表机床多为经济型数控机床，有些企业还用经济型数控装置对传统机床进行数控化改造。经济型数控机床的脉冲当量一般在 $0.001\text{mm}\sim 0.01\text{mm}$ 范围内。

2. 全功能型数控机床

全功能型数控机床又称普及型数控机床，采用功能完善、价格较高的数控装置，采用闭环（或半闭）环控制，直流（或交流）伺服电机，在机械结构设计上充分考虑了强度、刚度、抗震性、低速运动平稳性、精度、热稳定性和宜操作等方面的要求，能实现高速、强力切削。全功能型数控机床的脉冲当量一般在 $0.1\mu\text{m}\sim 1\mu\text{m}$ 范围内。

3. 高档型数控机床

高档型数控机床是指三轴以上联动控制、能加工复杂形状零件的数控机床，或者工序高度集中、具备高度柔性的数控机床，或者可进行超高速、精密、超精密甚至纳米加工的数控机床，这类机床性能好、价格高，仅用在特别需要的场合。高档型数控机床的脉冲当量一般为 $0.1\mu\text{m}$ 甚至更小。

1.3.5 按联动坐标轴数分类

根据所能控制联动坐标轴数目的不同，数控机床还可分成两坐标、三坐标、四坐标、五坐标等。两坐标数控机床主要用于加工二维平面轮廓，三坐标数控机床主要用于加工三维立体轮廓，四坐标和五坐标数控机床主要用于加工空间复杂曲面或高精度、难加工的特殊型面。

项目 1.4 数控机床的特点和应用范围

1.4.1 数控机床的特点

与传统机床相比,数控机床具有下述显著特点。

1. 自动化程度高

数控机床上的零件加工是在程序的控制下自动完成的。在零件加工过程中,操作者只需完成装卸工件、装刀对刀、操作键盘、启动加工、监视加工过程、检验工件质量等工作,因此劳动强度低,劳动条件明显改善。数控机床是柔性自动化加工设备,是制造装备数字化的主角,是计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)等柔性自动化制造系统的重要底层设备。

2. 加工精度高

由于数控机床的控制分辨率高,机床本体强度、刚度、抗震性、低速运动平稳性、精度、热稳定性等性能均较好,具有各种误差补偿功能,机械传动链较短,且采用闭环或半闭环反馈控制,因此具有较高的加工精度。因为数控机床的加工过程自动完成,排除了人为因素的影响,所以加工零件的尺寸一致性好,合格率高,质量稳定。

3. 生产率高

一方面,数控机床主运动速度和进给运动速度范围大且无级调速,快速空行程速度高,结构刚性好,驱动功率大,可选择最佳切削用量或进行高速高强力切削,与传统机床相比切削时间明显缩短。另一方面,数控机床加工可免去画线、手工换刀、停机测量、多次装夹等加工准备和辅助时间,从而明显提高了数控机床的生产效率。此外,有些数控机床采用了双工作台结构,使工件的装卸辅助时间与机床的切削时间重合,进一步提高了生产效率。

4. 对工件的适应性强

数控机床具有坐标控制功能,配有完善的刀具系统,可通过数控编程加工各种形状复杂的零件。数控机床主运动速度和进给运动速度范围大且无级调速,可适应多种难加工的材料零件。数控机床属于柔性自动化通用机床,在没有对机床和工件进行较大调整的情况下,即可适应各种批量的零件加工。

5. 有利于生产管理信息化

数控机床按数控加工程序自动进行加工,可以精确计算加工工时、预测生产周期,所用工装简单,采用刀具已标准化,因此有利于生产管理信息化。现代数控机床正向智能化、开放化、网络化方向发展,可将工艺参数自动生成、刀具破损监控、刀具智能管理、故障诊断专家系统、远程故障诊断与维修等功能集成到数控系统中,并可在计算机网络和数据库技术支持下将多台数控机床集成为柔性自动化制造系统,为企业制造信息化奠定了底层基础。

1.4.2 数控机床的应用范围

数控机床的性能特点决定了它的应用范围。对于数控加工,可按适应程度将加工对象

大致分为以下三类。

1. 最适应类

最适应数控加工的零件有：形状复杂、加工精度要求高、用普通加工设备无法加工或难以保证加工精度的零件；用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件；具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒型零件；必须在一次装夹中完成钻、铣、镗、铰等多道工序的零件。

2. 较适应类

较适应数控加工的零件有：在普通机床上加工生产率低、劳动强度大、质量难稳定控制的零件。另外，毛坯获得困难、不允许报废的零件，在普通机床上加工有一定难度，受机床操作人员精神及工作状态等多种因素影响，容易产生次品或废品。

3. 不适应类

不适应数控加工的零件一般是指：经过数控加工后，在生产率与经济性方面无明显改善，甚至可能弄巧成拙或得不偿失的零件。大致有以下几种：生产批量大的零件（当然不排除其中个别工序用数控机床加工）；装夹困难或完全靠找正定位来保证精度的零件；加工余量很不稳定，且数控机床上无在线检测系统可自动调整坐标位置的零件；必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

项目 1.5 数控系统的主要功能

CNC（计算机数控）系统的功能是指满足不同控制对象各种要求的能力，通常包括基本功能和选择功能。基本功能是数控系统必备的功能，如控制功能、准备功能、插补功能、进给功能、主轴功能、辅助功能、刀具功能、字符显示功能和自诊断功能等。选择功能是供用户根据不同机床的特点和用途进行选择的功能，如补偿功能、固定循环功能、通信功能和人机对话编程功能等。

1.5.1 数控系统的基本功能

1. 控制功能

控制功能是指 CNC 装置控制各运动轴的功能，它的强弱取决于能控制的轴数以及同时控制的轴数（即联动轴数）。控制轴有移动轴和回转轴、基本轴和附加轴。一般数控车床只需同时控制两个轴；数控铣床、镗床及加工中心等需要有 3 个或 3 个以上的控制轴；加工空间曲面的数控机床需要 3 个以上的联动轴。控制轴数越多，CNC 装置就越复杂，编制程序也越困难。

2. 准备功能

准备功能也称 G 功能，用来指定机床的动作方式，包括基本移动、程序暂停、平面选择、坐标设定、刀具补偿、基准点返回、固定循环、公英制转换等指令。它用字母 G 和其后的两位数字表示。ISO 标准中准备功能有 G00~G99，共 100 种。

3. 插补功能

现代数控机床的数控系统将插补分为软件粗插补和硬件精插补两步进行：先用软件算出每一个插补周期应走的线段长度，即进行粗插补，再由硬件完成线段长度上的一个个脉