



数控编程与加工技术

SHUKONG BIANCHENG YU JIAGONG JISHU

主 编 刘光定
副主编 张 军
主 审 潘爱民



重庆大学 出版社

<http://www.cqup.com.cn>

内容提要

本书是根据教育部新一轮职业教育教学改革成果——最新研发的机电一体化技术专业、数控技术专业培养方案中机床数控技术核心课程标准,并参照了相关国家职业标准及相关行业职业技能鉴定规范编写的。全书共4个情境、20个项目,主要内容包括认识数控编程与加工技术、数控编程与加工基础,以及数控车床、数控铣床、加工中心和数控线切机床编程与加工。本书是根据项目教学和基于工作任务过程的要求编写,从数控技能的应知、应会两方面入手,全面系统地介绍了数控加工及相关的基础知识和操作技能。力求紧密联系实际,以解决实际工作任务为目标,以培养学生能力为中心,突出实用性,理论浅显、通俗易懂,案例丰富,每个项目中均附有自测习题。

本书可作为职业院校数控技术、机械制造及其自动化、模具设计与制造、机电一体化技术、航空机电技术等专业的教材,也可作为相关行业的岗位培训教材及有关人员的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/刘光定主编. —重庆:重庆大学出版社,2016.8

高职高专机电一体化专业系列教材

ISBN 978-7-5689-0023-2

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第185103号

数控编程与加工技术

主 编 刘光定

副主编 张 军

主 审 潘爱民

策划编辑:周 立

责任编辑:李定群 版式设计:周 立

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆川渝彩色印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21 字数:485千

2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷

印数:1—2 500

ISBN 978-7-5689-0023-2 定价:42.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

我国从 20 世纪 80 年代开始进行课程改革直到现在,基本确定了这样的观念,即项目课程应当成为当前高等职业教育专业课程改革的方向,因为它符合职业教育的规律,容易激发学生的学习兴趣,培养学生综合应用能力。高职的教学目标是使学生获得相应职业领域的职业能力。因此,形成职业能力是课程的出发点,也是课程的终结点。

21 世纪是知识经济的时代,科学技术发展迅速,日新月异,现代高新技术企业急需大量的既有扎实的理论基础又有较强的动手能力的数控技术应用技能型人才。根据这一要求,同时根据国内高职高专教育的实际情况及各级数控技能竞赛要求,为培养具有数控加工工艺、数控编程和数控机床的实际操作能力的高素质技能型专门人才,编者在多年教学实践的基础上按照项目教学和基于工作任务过程的思路编写了本书。

本书由郑州电力职业技术学院的刘光定任主编,张军任副主编。教材具体编写分工如下:项目 1、项目 2、项目 3、项目 8、项目 9、项目 10、项目 13、项目 16、项目 17、项目 18、项目 20 由郑州电力职业技术学院的刘光定编写,项目 4、项目 7、项目 12、项目 14、项目 15 由郑州科技学院的张军编写,项目 6、项目 19 由郑州安全职业学院的轩卉编写,项目 11 由郑州电力职业技术学院的邢勇香编写,项目 5 由郑州科技学院的刘筠筠编写。全书由刘光定统稿,郑州电力职业技术学院的潘爱民教授任主审。

本书在编写的过程中得到了有关专家和兄弟院校的大力支持 and 帮助,在此一并表示感谢。在编写过程中,参考并引用了有关文献和插图等,在此也表示由衷的感谢!

因作者水平有限,经验不足,书中不当之处在所难免,敬请各位专家和读者提出宝贵意见。

编者

2016 年 2 月

目 录

情境 1 数控编程与加工基础

项目 1 认识数控编程与加工技术	1
1.1 项目导航	1
1.2 项目分析	2
1.3 学习目标	2
1.4 相关知识	3
1.5 项目实施	10
1.6 项目小结	13
1.7 项目自测	13
项目 2 数控编程与加工的基础	14
2.1 项目导航	14
2.2 项目分析	15
2.3 学习目标	15
2.4 相关知识	15
2.5 项目实施	28
2.6 项目小结	29
2.7 项目自测	30

情境 2 数控车削编程与加工

项目 3 数控车削编程与加工的入门	32
3.1 项目导航	32
3.2 项目分析	33
3.3 学习目标	33
3.4 相关知识	34
3.5 项目实施	46
3.6 项目小结	49
3.7 项目自测	49

项目 4 阶梯轴零件的编程与加工	51
4.1 项目导航	51
4.2 项目分析	52
4.3 学习目标	52
4.4 相关知识	52
4.5 项目实施	62
4.6 项目小结	66
4.7 项目自测	66
项目 5 曲面轴零件的编程与加工	68
5.1 项目导航	68
5.2 项目分析	69
5.3 学习目标	69
5.4 相关知识	69
5.5 项目实施	76
5.6 项目小结	80
5.7 项目自测	80
项目 6 切槽、切断零件的编程与加工	82
6.1 项目导航	82
6.2 项目分析	83
6.3 学习目标	83
6.4 相关知识	83
6.5 项目实施	88
6.6 项目小结	92
6.7 项目自测	92
项目 7 螺纹轴零件的编程与加工	94
7.1 项目导航	94
7.2 项目分析	95
7.3 学习目标	95
7.4 相关知识	95
7.5 项目实施	103
7.6 项目小结	107
7.7 项目自测	108

项目 8 复杂轴零件的编程与加工	109
8.1 项目导航	109
8.2 项目分析	110
8.3 学习目标	110
8.4 相关知识	110
8.5 项目实施	116
8.6 项目小结	123
8.7 项目自测	123
项目 9 曲线轴零件的编程与加工	124
9.1 项目导航	124
9.2 项目分析	125
9.3 学习目标	125
9.4 相关知识	125
9.5 项目实施	132
9.6 项目小结	136
9.7 项目自测	136
项目 10 车削轴的自动编程与加工	137
10.1 项目导航	137
10.2 项目分析	138
10.3 学习目标	138
10.4 相关知识	138
10.5 项目实施	141
10.6 项目小结	149
10.7 项目自测	149

情境 3 数控铣削编程与加工

项目 11 数控铣削编程与加工的入门	150
11.1 项目导航	150
11.2 项目分析	151
11.3 学习目标	151
11.4 相关知识	152
11.5 项目实施	167
11.6 项目小结	172
11.7 项目自测	173

项目 12	平面凸台零件的编程与加工	174
12.1	项目导航	174
12.2	项目分析	175
12.3	学习目标	175
12.4	相关知识	175
12.5	项目实施	184
12.6	项目小结	188
12.7	项目自测	188
项目 13	平面型腔零件的编程与加工	189
13.1	项目导航	189
13.2	项目分析	190
13.3	学习目标	190
13.4	相关知识	190
13.5	项目实施	198
13.6	项目小结	202
13.7	项目自测	202
项目 14	平面相似零件的编程与加工	204
14.1	项目导航	204
14.2	项目分析	205
14.3	学习目标	205
14.4	相关知识	205
14.5	项目实施	213
14.6	项目小结	218
14.7	项目自测	218
项目 15	平面孔系零件的编程与加工	219
15.1	项目导航	219
15.2	项目分析	220
15.3	学习目标	220
15.4	相关知识	220
15.5	项目实施	230
15.6	项目小结	236
15.7	项目自测	236

项目 16	非圆曲线零件的编程与加工	237
16.1	项目导航	237
16.2	项目分析	238
16.3	学习目标	238
16.4	相关知识	238
16.5	项目实施	245
16.6	项目小结	249
16.7	项目自测	250
项目 17	铣削槽的自动编程与加工	251
17.1	项目导航	251
17.2	项目分析	252
17.3	学习目标	252
17.4	相关知识	252
17.5	项目实施	255
17.6	项目小结	268
17.7	项目自测	268
项目 18	底板零件的编程与加工	269
18.1	项目导航	269
18.2	项目分析	270
18.3	学习目标	270
18.4	相关知识	270
18.5	项目实施	277
18.6	项目小结	286
18.7	项目自测	287

情境 4 数控线切割编程与加工

项目 19	凸模零件的编程与加工	288
19.1	项目导航	288
19.2	项目分析	289
19.3	学习目标	289
19.4	相关知识	290
19.5	项目实施	294
19.6	项目小结	302
19.7	项目自测	302

项目 20 凹模零件的编程与加工	303
20.1 项目导航	303
20.2 项目分析	304
20.3 学习目标	304
20.4 相关知识	304
20.5 项目实施	316
20.6 项目小结	323
20.7 项目自测	324
参考文献	325

情境 **1**

数控编程与加工基础

项目 **1**

认识数控编程与加工技术

1.1 项目导航

如图 1.1 所示为数控机床图。所谓的数控机床,顾名思义,是一类由数字程序控制的机床。它是将事先编好的程序输入机床的专用计算机中,由计算机指挥机床各坐标轴的伺服电机控制机床各运动部件的先后动作、速度和位移量,并与选定的主轴转速相配合,从而加工出各种不同工件的设备。要求通过学习来认识数控机床。



图 1.1 数控机床图

1.2 项目分析

在学习过程中,应认真、仔细地观察数控机床加工,比较数控机床与普通机床的不同之处,深入地了解数控机床加工的内容、加工特点、数控机床种类等基本知识,同时体验数控机床加工的工作氛围,为进一步学习数控机床的编程与加工做准备。

1.3 学习目标

(1) 知识目标

- ①了解数控机床的布局、基本结构及其功用。
- ②了解数控机床的结构特点及其发展。
- ③理解数控机床的基本运动。
- ④掌握数控机床的基本操作。
- ⑤理解数控机床的加工过程。

⑥了解数控机床的加工对象及其用途。

(2) 能力目标

- ①熟悉数控机床安全文明生产及安全操作规程。
- ②能够进行数控机床的日常及定期的系统检查、维护保养。
- ③具有数控机床操作基本的自我保护意识与能力。
- ④能进行数控机床常用工具、夹具、量具的维护保养。

1.4 相关知识

知识点 1 数控机床的产生与发展过程

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三轴联动立式数控铣床,控制装置由真空管组成。1954年生产出了第一台工业用的数控机床,1955年类似产品投产了100台。这些数控机床在复杂曲面零件加工中发挥了很大作用。

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4个发展过程:第一代数控装置由真空管组成;第二代采用晶体管和印刷电路;第三代采用小规模集成电路,并出现了DNC(Direct Numerical Control,直接数控)控制方式;第四代采用大规模集成电路及小型通用计算机控制,被称为计算机数控(Computerized NC, CNC),第一代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,在主微处理器的统一控制和管理下,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水平的提高。数控机床产品已覆盖了车、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,数控机床产品品种已达300多种。

知识点 2 数控机床的基本组成和分类

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。它是典型的机电一体化产品,是数控技术的最典型应用。

(1) 数控机床的组成

典型数控机床的组成如图 1.1 所示。由图 1.1 可知,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、检测反馈装置及机床本体 7 个部分组成。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,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,孔的不同位置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上仍附带有纸带阅读机长磁带录机音机,但由于微型计算机的普遍使用期,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。具体说有以下 3 种情况:

a. 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。这种方法一般只适用于一些较为简短的程序。

b. 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, 存于内存中。后面有关章节中的手工编程主要就是采用这种输入方法。用这种方法还可调出已存入的数控程序, 并对其进行编辑修改。

c. 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

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

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) 及数字通信接口等。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、系统参数及报警, 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, 对程序进行译码及数据处理、插补运算、位置控

制和 I/O 处理,产生控制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程序。

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。它主要实现各种辅助功能控制,如机床的起停、换刀、冷却液开关等控制。目前,它多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、执行机构及位置、速度检测反馈装置 3 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。其输入为电信号,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、精度保持性、刚性、抗振性、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)及其传动部件,以及床身、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,还有存放刀具的刀库、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、抗振性等方面要求更高,而且其传动和变速系统要便于实现自动控制。

(2) 数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件时,首先根据零件图样的要求,结合所采用的数控机床的功能、性能和特点,确定合理的加工工艺,编程相应的数控加工程序,并采用适当的方式将程序输入数控装置。在数控机床加工过程中,数控装置对数控加工程序进行编译、运算和处理,输出坐标控制指令到伺服驱动系统,顺序逻辑控制指令到 PLC,通过伺服驱动系统和 PLC 驱动机床刀架或工作台按照数控加工程序规定的轨迹和工艺参数运动,从而加工出符合图纸要求的零件。

知识点 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,可从以下 5 个不同的角度进行分类:

(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,可将数控机床分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床及数控镗床等。

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、扩孔及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、数控等离子切割及火焰切割等。

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。

(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 3 类。

1) 点位控制

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,且在运动过程中不作任何加工。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。这类机床无须插补器,其基本要求是定位精度、定位时间和移动速度,对运动轨迹无精度要求。为了精确定位和提高移动速度,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,如图 1.2(a) 所示。

2) 点位直线控制

点位直线控制的数控机床又简称直线控制的数控机床。这类数控机床不仅可控制刀具或工作台由一个位置点到另一个位置点的精确坐标位置,还可控制它们以给定的速度沿着平行于某一坐标轴方向作直线运动并在移动的过程中进行加工。这类数控系统也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、端面及 45° 锥面加工的数控车床,如图 1.2(b) 所示。

3) 轮廓控制

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及轨迹上每一点的运动速度进行精确控制,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。这类机床的数控系统带有插补器,以精确实现各种曲线或曲面。能进行连续控制的数控机床,一般也能进行点位控制和点位直线控制,如图 1.2(c) 所示。

(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,可将数控机床分为开环、闭环和半闭环控制数控机床 3 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数控机床,其伺服系统由步进驱动和步进电机组成。如图 1.3 所示为开环控制系统的框图。机床的工作精度取决于步进电机的传动精度及变速机构、丝杠等机械传动部件的精度。

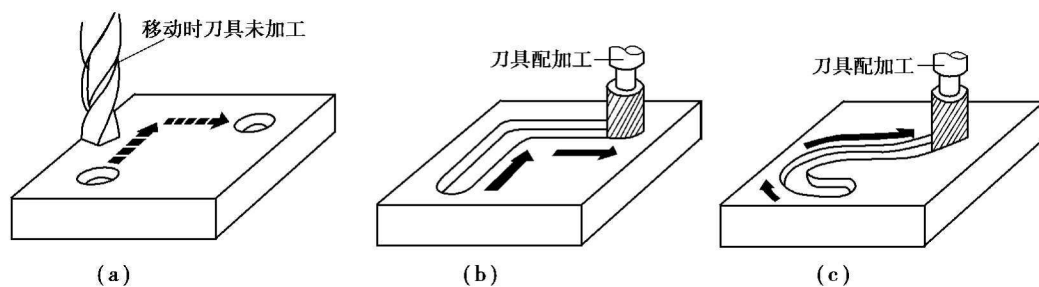


图 1.2 数控系统控制方式图

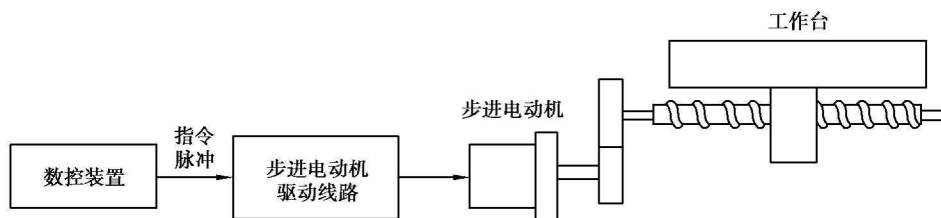


图 1.3 开环控制系统框图

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。如图 1.4 所示为闭环控制系统框图。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。

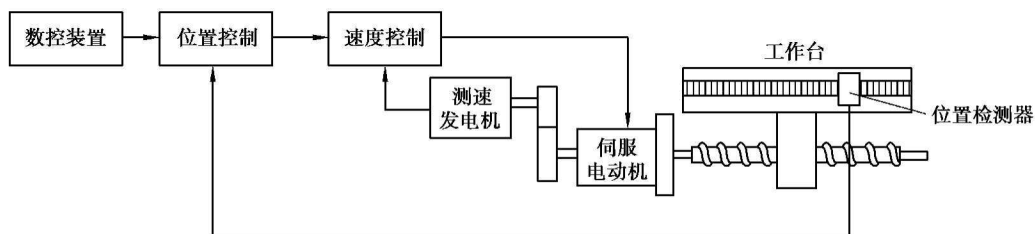


图 1.4 闭环控制系统框图

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,只是其角位移检测装置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,故称为半闭环控制系统。如图 1.5 所示为半闭环控制系统框图。

(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

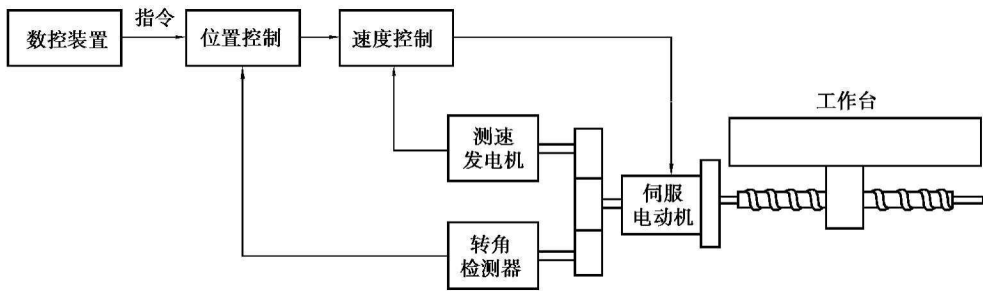


图 1.5 半闭环控制系统框

为开环控制,其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,获得经济型数控机床。经济型数控机床的脉冲当量一般为 0.001~0.01 mm。

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、抗振性、低速运动平稳性、精度、热稳定性和操作宜人等方面的要求,能实现高速、强力切削。全功能型数控机床的脉冲当量一般为 0.1~1 μm。

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,或者工序高度集中且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,一般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 μm 甚至更小。

(5) 按联动坐标轴数分类

按所能控制联动坐标轴数目的不同,数控机床还可分为两坐标、三坐标、四坐标、五坐标等数控机床。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一些高精度、难加工的特殊型面。

知识点 4 数控机床加工特点及应用范围

(1) 数控机床加工的特点

与传统机床相比,数控机床具有以下显著特点:

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、加工过程监视、工件质量检验等工作,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,