



教育部高职高专规划教材

技能型 **紧缺** 人才培养培训系列教材

数控机床 控制技术基础

► 赵俊生 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

数控机床控制技术基础

赵俊生 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床控制技术基础/赵俊生主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 10

(教育部高职高专规划教材)

技能型紧缺人才培养培训系列教材

ISBN 7-5025-7741-6

I. 数… II. 赵… III. 数控机床-电气控制-高等学校: 技术学院-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 119427 号

教育部高职高专规划教材
技能型紧缺人才培养培训系列教材

数控机床控制技术基础

赵俊生 主编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 廉 静

责任校对: 于志岩

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 368 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7741-6

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

全书紧紧围绕数控应用技术专业，培养高素质、应用型人才，以数控机床控制技术为主线，以电器与典型电气控制线路为基础，突出数控机床这个主题，介绍外挂和内置 PLC 及数控机床接口技术的要求和标准，DNC 通信接口与网络接口技术，通过 PLC 编程学习，学会与数控机床相关的 PLC 编程技术和接口技术；数控机床检测装置，通过传感器应用学习，学会正确选用与数控机床相关的光电、电磁传感器和编码器，了解传感器的连接与安装技术；了解步进电动机，交、直流伺服电动机，主轴电动机结构原理；掌握步进驱动装置，晶闸管直流驱动装置，晶体管直流脉宽调制驱动装置，交流异步电动机、伺服电动机等驱动装置；掌握数控机床伺服驱动系统的位置、主轴定向等控制；了解变频调速，经济型和标准型数控系统。

数控机床是集机械、计算机、自动控制、电力拖动等多学科相结合的产物，只有掌握各学科知识，才能全面掌握数控机床。本书除了详细地介绍典型电气控制线路，位置检测系统，步进电动机、交、直流伺服电动机的控制系统外还提供了一定的应用实例，以及部分技能实验课题，便于读者将所学的知识综合化，且具有一定的应用性。

本书由赵俊生担任主编，唐义锋、张水利担任副主编。参加编写工作的人员分别是赵俊生编写第一、五章，李杨编写第二章，冯正国编写第三章，唐义锋编写第四章，张水利编写第六章。在本书编写、审定稿的过程中，曾得到江苏财经职业技术学院、山东水利职业技术学院的领导及同志们的多方面帮助，在此一并致谢。

本书由李宏副教授主审，并提出了许多宝贵意见和建议。编者对此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者指正。

编者

2005 年 8 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 数控机床控制系统的构成.....	1
一、数控技术.....	1
二、数控设备的组成.....	1
三、数控机床控制系统的构成.....	3
四、数控机床的分类.....	4
五、数控设备的工作原理.....	7
第二节 现代控制技术及发展.....	7
一、数控技术的发展史.....	7
二、数控技术的发展趋势	10
三、数控伺服系统的发展	10
四、以数控机床为基础的自动化生产系统	11
思考与练习题	12
第二章 电气控制技术基础	13
第一节 低压电器的基本知识	13
一、低压电器的定义及分类	13
二、电磁式电器	13
三、电器的触头系统和灭弧装置	14
四、低压电器的主要技术参数	15
第二节 低压控制电器	17
一、刀开关	17
二、按钮	18
三、行程开关	19
四、接触器	20
五、继电器	23
六、时间继电器	25
七、速度继电器	28
第三节 低压保护电器	29
一、熔断器	30
二、热继电器	31
三、断路器	33
第四节 三相笼形异步电动机电气控制电路基本知识	34
一、电气控制系统图基本知识	34
二、电路图	36
三、电器元件布置图	37
四、电气安装接线图	37

第五节 三相笼形异步电动机的启动控制电路	38
一、笼形异步电动机单向直接启动控制电路	38
二、电动机点长动控制电路	39
三、笼形异步电动机正反转控制电路	41
四、笼形异步电动机降压启动控制电路	44
第六节 三相笼形异步电动机的制动控制电路	49
一、概述	49
二、反接制动控制电路	50
三、能耗制动控制电路	52
第七节 电气控制电路技能实验	54
技能实验 1 三相笼形异步电动机过载保护控制电路的实验	54
技能实验 2 三相异步电动机的点长动控制电路的实验	54
技能实验 3 三相笼形异步电动机“正-停-反”控制线路实验	55
技能实验 4 三相异步电动机Y- Δ 减压启动控制电路实验	56
思考与练习题	57
第三章 数控机床检测装置	58
第一节 概述	58
一、检测装置的分类	58
二、数控检测装置的性能指标	58
三、位置传感器的测量方式	59
第二节 感应同步器	60
一、感应同步器的结构和类型	60
二、感应同步器的工作原理	61
三、感应同步器的典型应用	63
第三节 光栅位置检测装置	66
一、光栅检测装置的结构	66
二、光栅传感器工作原理	67
三、光栅位移-数字变换电路	68
第四节 光电脉冲编码器	68
一、脉冲编码器的分类和结构	68
二、光电脉冲编码器的工作原理	69
三、光电脉冲编码器的应用	69
第五节 旋转变压器	71
一、旋转变压器的工作原理	72
二、旋转变压器的应用	73
第六节 磁尺位置检测装置	73
一、磁尺测量装置的组成和工作原理	73
二、多间隙磁通响应型磁头	75
三、检测电路	76
思考与练习题	77
第四章 驱动电机与驱动装置	78
第一节 驱动电机	78

一、步进电动机	78
二、伺服电动机	84
三、主轴电动机	88
第二节 驱动装置概述	89
一、驱动装置分类	89
二、功率器件	89
第三节 步进驱动装置	91
一、环形分配	91
二、驱动放大电路	92
第四节 晶闸管直流驱动装置	96
一、晶闸管直流调速控制	96
二、晶闸管-直流电动机调速系统	98
第五节 晶体管直流脉宽调制驱动装置	105
一、PWM 系统功率转换电路	106
二、PWM 系统的脉宽调制	107
三、FANUC PWM 直流进给驱动	110
第六节 交流伺服电动机驱动装置	110
一、交流调速的基本概念	110
二、正弦波脉宽调制	112
三、通用变频器	114
四、交流伺服电动机驱动系统	118
五、矢量变换控制的 SPWM 调速系统	124
六、变频器调速在实际应用中需要注意的问题	126
七、变频调速的发展方向	127
思考与练习题	127
第五章 数控机床的伺服驱动系统	129
第一节 概述	129
一、伺服系统的组成	129
二、数控机床对伺服系统的要求	129
第二节 位置控制	130
一、位置比较实现的方式	130
二、速度控制信号的实现方式	141
三、位置控制实例	144
第三节 主轴定向控制	147
一、主轴定向控制的作用	147
二、主轴定向控制的实现方式	147
第四节 伺服系统性能及参数	149
一、稳态性能	150
二、动态性能	151
三、轮廓加工中的跟随精度	152
四、伺服系统参数	154
第五节 全数字式伺服系统	155

一、全数字式伺服系统的构成	155
二、全数字式伺服系统的特点	156
第六节 经济型数控系统	157
一、经济型数控系统的组成	157
二、经济型数控系统的特点	157
三、微机系统	158
四、外围电路	158
五、软件结构	159
第七节 标准型数控系统	161
一、标准型数控系统的基本组成	161
二、标准型数控系统的硬件结构	162
三、标准型数控系统的软件结构	164
第八节 典型 FANUC 数控系统介绍	170
一、FANUC 数控系统简介	170
二、功能特点	172
三、系统构成	172
思考与练习题	175
第六章 PLC 与接口技术	177
第一节 PLC 的结构与原理	177
一、PLC 的特点和主要功能	177
二、PLC 的定义、结构和组成	179
三、PLC 的工作原理	181
第二节 PLC 的指令系统	182
一、PLC 常用的编程语言	182
二、FX 系列 PLC 中使用的各种元器件	184
三、FX 系列 PLC 的基本指令及编程方法	186
第三节 数控机床的 PLC	193
一、数控机床的 PLC 的控制对象	193
二、数控机床的 PLC 的形式	194
第四节 PLC 的程序编制	196
一、PLC 用户程序的表达方法	196
二、FANUC PLC 指令系统	196
三、FANUC PLC 梯形图编制的一般规则	199
四、数控机床典型 PLC 程序介绍	200
第五节 输入输出及其通信接口	204
一、数控系统对输入输出接口的要求	204
二、CNC 装置的人机接口	204
三、数控系统的 I/O 接口	206
四、数控系统常用的串行通信接口标准	206
五、DNC 通信接口技术	208
六、数控系统网络通信接口	208
第六节 PLC 位置控制	210

一、适用点位控制的脉冲输出单元 F2-30GM	210
二、A 系列 PLC 位置控制功能模块 AD71、AD72	211
三、实现运动和顺序控制一体化的 A73CPU 模块	212
第七节 可编程控制器技能实验	212
技能实验 1 PLC 认识实验	212
技能实验 2 PLC 定时器与计数器实验	213
技能实验 3 交通信号灯实验	214
技能实验 4 五相步进电机的模拟控制实验	214
技能实验 5 刀库自动换刀实验	216
思考与练习题	218
参考文献	219

第一章 概 述

第一节 数控机床控制系统的构成

一、数控技术

数字控制 (Numerical Control) 技术, 简称数控 (NC) 技术, 是指用数字指令来控制机器的动作。

数控技术是采用数字代码形式的信息, 按给定的工作程序、运动速度和轨迹, 对被控制的对象进行自动操作的一种技术。如果一种设备的控制过程是以数字形式来描绘的, 其工作过程是可编程序的, 并能在程序控制下自动地进行, 那么这种设备就称为数控设备。换句话说, 采用了数控技术的控制系统称之为数控系统, 采用了数控系统的设备称之为数控设备。数控机床是一种典型的数控设备。由于数控技术是与机床控制密切结合而发展起来的, 因此, 以往讲数控即是指机床数控。本书数控设备均以数控机床为例。随着数控技术的发展, 它的应用范围不仅限于机械加工行业, 在仪器仪表、纺织、印刷、包装等众多行业中, 都出现了许多数控设备。新近推出的数控设备, 在结构上、功能上以及实现的技术手段上都与传统的数控设备有很大的差异, 性能指标也有很大的提高。

二、数控设备的组成

数控设备是由数控系统和被控对象组成。但从组成一台完整的数控机床上讲, 一般由控制介质、数控系统、伺服系统、辅助装置、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成, 其框图如图 1-1 所示。

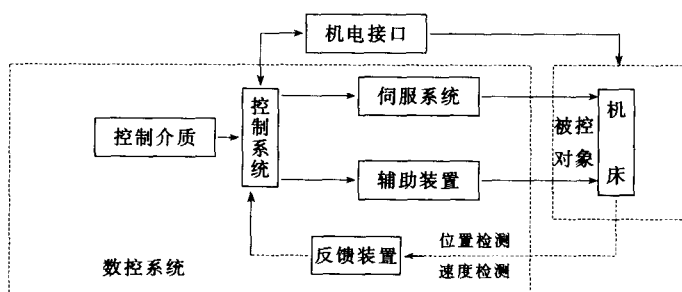


图 1-1 数控设备组成示意

(一) 控制介质

控制介质又称信息载体, 是人与数控机床之间的媒介物质, 反映了数控加工中全部信息。控制介质有多种形式, 它随着数控装置的类型不同而不同, 常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘等。还有的采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接将程序及数据输入。另外, 随着 CAD/CAM 技术的发展, 有些数控设备利用 CAD/CAM 软件在其计算机上编程, 然后通过计算机与数控系统通信, 将程序和数据直接传送给数控装置。

(二) 数控装置

数控装置是数控系统的核心。现代的数控装置普遍采用通用计算机作为数控装置的主要

硬件，包括微型机系统的基本组成部分，CPU、存储器、局部总线以及输入输出接口等；软件部分就是我们所说的数控系统软件。数控装置的基本功能是，读入零件加工程序，根据加工程序所指定的零件形状，计算出刀具中心的移动轨迹，并按照程序指定的进给速度，求出每个微小的时间段（插补周期）内刀具应该移动的距离，在每个时间段结束前，把下一个时间段内刀具应该移动的距离送给伺服单元。

（三）伺服系统

伺服系统是数控机床的执行结构，是数控系统和机床本体之间的电气联系环节。主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令，再经过驱动控制系统的功率放大后，驱动电动机运转，通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

目前数控机床的伺服系统中，常用的控制对象可以是步进电动机、直流伺服电动机或交流伺服电动机（后两者带有光电编码器等位置测量元件），每种伺服电动机的性能和工作原理都不同。步进电动机是最简单的伺服电动机，随着交流电动机调速技术的发展，交流伺服系统用得越来越普遍。

（四）强电控制柜

强电控制柜主要用来安装机床强电控制的各种电气元件，除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源，以及各种短路、过载、欠压等电气保护外，主要在 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起连接作用，控制机床辅助装置，如各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。此外，它也与机床操作台有关手动按钮连接。强电控制柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成，如图 1-2 所示。它与一般普通机床的电气类似，但为了提高对弱电控制系统的抗干扰性，要求各类频繁启动或切换的电动机、接触器等其中的电磁感应器件中均必须并联 RC 阻容吸收器；对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

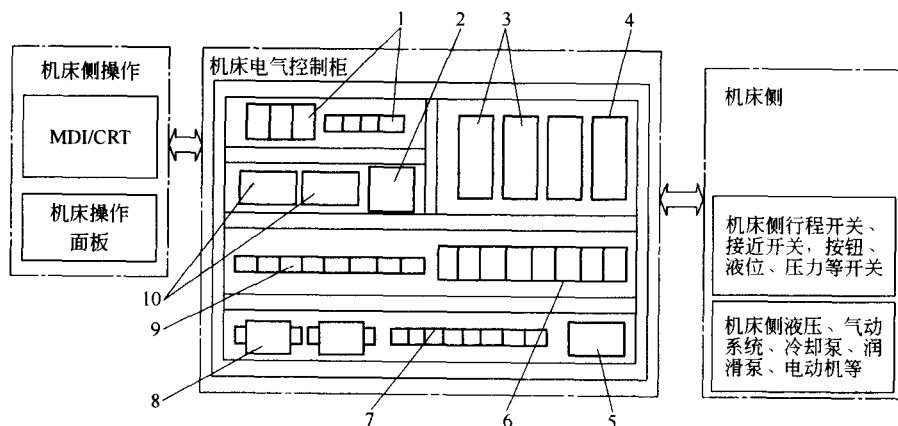


图 1-2 数控机床电气控制柜的示意

- 1—熔断器及断路器；2—开关电源；3—主轴及进给驱动装置；4—CNC 装置；5—接地排；
6—接触器；7—接线排；8—机床控制变压器；9—中间继电器；10—输入输出 (I/O)

（五）辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置 ATC (Automatic Tool Changer)、自动交换工作台机构 APC (Automatic Pallet Changer)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润

滑装置、切削液控制装置、排屑装置、过载和保护装置等。

(六) 机床本体

数控机床的本体是指机械结构实体。可以在普通机床的基础上改装,也可以单独设计。与传统的普通机床相比较,数控机床的机械部分具有以下一些特点。

① 数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,具有机械传动结构简化,传动链较短,传动精度高等特点。

② 数控机床机械结构具有较高的刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形小。

③ 更多地采用高效传动部件,一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副或塑料涂层导轨等。具有完善的刀具自动交换及管理系统。

(七) 位置检测装置

位置检测装置也称反馈元件,通常安装在机床的工作台上或丝杠上,用来检测工作台的实际位移或丝杠的实际转角。在闭环控制系统中这个实际位移或转角有的要反馈给数控装置,由数控装置计算出实际位置和指令位置之间的差值,并根据这个差值的方向和大小去控制机床,使之朝着减小误差的方向移动。位置检测装置的精度直接决定了数控机床的加工精度。

三、数控机床控制系统的构成

数控机床进行加工时,首先必须将工件的几何数据和工艺数据按规定的代码和格式编制成数控加工程序,并用适当的方法将加工程序输入数控系统。数控系统对输入的加工程序进行数据处理,输出各种信息和指令,控制机床各部分按规定有序地动作。这些信息和指令最基本的包括:各坐标轴的进给速度、进给方向和进给位移量,各状态控制的 I/O 信号等。伺服系统的作用就是将进给位移量等信息转换成机床的进给运动,数控系统要求伺服系统正确、快速地跟随控制信息,执行机械运动,同时,位置反馈系统将机械运动的实际位移信息反馈至数控系统,以保证位置控制精度。

总之,数控机床的运行在数控系统的控制下,处于不断地计算、输出、反馈等控制过程中,从而保证刀具和工件之间相对位置的准确性。与其他加工方法相比,数控机床有以下优点。

① 数控系统取代了普通机床的手工操纵,具有充分的柔性,只要编制成零件程序就能加工出零件。

② 零件加工精度一致性好,避免了普通机床加工时人为因素的影响。

③ 生产周期较短,特别适合小批量、单件的加工。

④ 可加工复杂形状的零件,如二维轮廓或三维轮廓加工。

⑤ 易于调整机床,与其他制造方法(如自动机床、自动生产线)相比,所需调整时间较少。

从数控机床最终要完成的任务看,主要有以下三个方面内容。

1. 主轴运动

主轴运动和普通车床一样,主轴运动主要完成切削任务,其动力约占整台机床动力的 70%~80%。基本控制是主轴的正、反转和停止,可自动换挡及无级调速;对加工中心和有些数控车床还必须具有定向控制和 C 轴控制。

2. 进给运动

这是数控机床区别于普通车床最根本的地方,即用电气驱动替代了机械驱动,数控机床的进给运动是由进给伺服系统完成的。伺服系统包括伺服驱动装置、伺服电动机、进给传动链及位置检测装置,如图 1-3 所示。

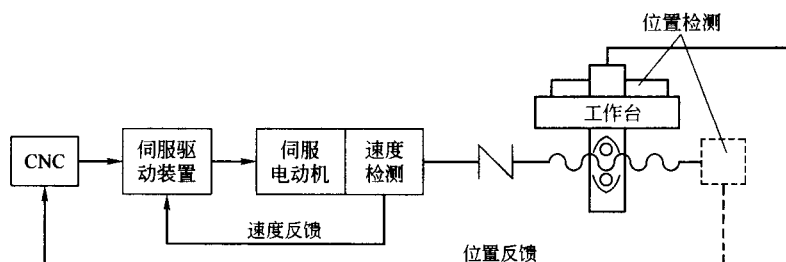


图 1-3 数控机床的进给伺服系统

伺服控制的最终目的就是机床工作台或刀具的位置控制，伺服系统中所采取的一切措施，都是为了保证进给运动的位置精度，如对机械传动链进行预紧和反向间隙调整；采用高精度的位置检测装置；采用高性能的伺服驱动装置和伺服电动机，提高数控系统的运算速度等。

3. 输入/输出 (I/O)

数控系统对加工程序处理后输出的控制信号除了对进给运行轨迹进行连续控制外，还要对机床的各种状态进行控制，这些状态包括主轴的变速控制，主轴的正、反转及停止，冷却和润滑装置的启动和停止，刀具的自动交换，工件夹紧和放松及分度工作台转位等。例如，通过对机床程序中的 M 指令、机床的操作面板上的控制开关及分布，在机床各部位的行程开关、接近开关、压力开关等输入元件的检测，由数控系统内的可编程控制器（PLC）进行逻辑运算，输出控制信号驱动中间继电器、接触器、电磁阀及电磁制动器等输出元件，对冷却泵、润滑泵、液压系统和气动系统进行控制。

根据国际标准《ISO4336—1981 (E) 机床数字控制——数控装置和数控机床电气设备之间的接口规范》的规定，接口分为四类。图 1-4 所示为数控装置、数控设备和机床间的连接关系。

① 第Ⅰ类 与驱动命令有关的连接电路，主要是与坐标轴进给驱动和主轴驱动的连接电路。

② 第Ⅱ类 数控装置与测量系统和测量传感器之间的连接电路。

第Ⅰ类和第Ⅱ类接口传送的信息是数控装置与伺服驱动单元、伺服电动机、位置检测和速度检测之间的控制信息及反馈信息，它们属于数字控制及伺服控制。

③ 第Ⅲ类 电源及保护电路，由数控机床强电线路中的电源控制电路构成。强电线路由电源变压器、控制变压器、各种断路器、保护开关、接触器、熔断器等连接而成，以便为辅助交流电动机（如冷却泵电动机、润滑泵电动机等）、电磁铁、离合器、电磁阀等功率执行元件供电。强电线路不能与低压下工作的控制电路或弱电线路直接连接，只有通过断路器、中间继电器等器件，转换成直流低电压下工作的触点的开合动作，才能成为继电器逻辑电路和 PLC 可接收的电信号，反之亦然。

④ 第Ⅳ类 开/关信号和代码信号连接电路，是数控装置与外部传送的输入、输出控制信号。当数控机床不带 PLC 时，这些信号直接在数控装置和机床间传送；当数控装置带有 PLC 时，这些信号除极少数的高速信号外，均通过 PLC 传送。

四、数控机床的分类

数控机床的种类规格很多，分类方法也各不相同，常见的分类有以下几种方式。

(一) 按被控制对象运动轨迹进行分类

1. 点位控制的数控机床

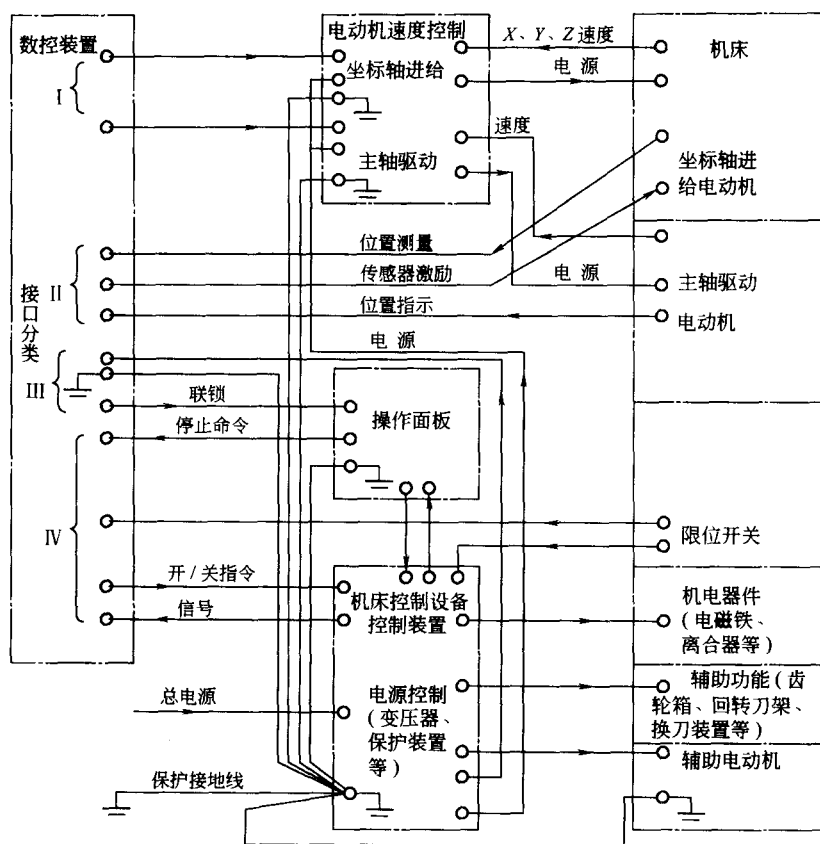


图 1-4 数控装置、数控设备和机床间的连接关系

点位控制数控机床的数控装置只要求能够精确地控制一个坐标点到另一个坐标点的定位精度，而不管从一点到另一点是按什么轨迹运动，在移动过程中不进行任何加工。为了精确定位和提高生产率，系统首先高速运行，然后按 1~3 级减速，使之慢速趋近于定位点，减小定位误差。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机和数控测量机等。

2. 直线控制的数控机床

直线控制数控机床一般要在两点间移动的同时进行切削加工，所以不仅要求有准确的定位功能，还要求从一点到另一点之间按直线规律运动，而且对运动的速度也要进行控制，对于不同的刀具和工件，可以选择不同的进给速度。这一类机床包括简易数控车床、数控铣床、数控镗床等。一般情况下，这些机床可以有两到三个可控轴，但一般同时控制轴数只有两个。

3. 轮廓控制的数控机床

轮廓控制又称连续控制，大多数数控机床具有轮廓控制功能。其特点是能同时控制两个以上的轴，具有插补功能。它不仅控制起点和终点位置，而且要控制加工过程中每一点的位置和速度，加工出任意形状的曲线或曲面组成的复杂零件。轮廓控制的数控机床的例子有两坐标及两坐标以上的数控铣床、可以加工回转曲面的数控机床、加工中心等。

(二) 按控制方式分类

1. 开环控制数控机床

这类数控机床没有检测反馈装置，数控装置发出的指令信号流程是单向的，其精度主要决定于驱动元件和伺服电机的性能，开环数控机床所用的电动机主要是步进电动机。移动部件的速度与位移是由输入脉冲的频率和脉冲数决定，位移精度主要决定于该系统各有关零部件的制造精度。

开环控制具有结构简单、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，一般位置精度通常为 $\pm 0.01 \sim \pm 0.02 \text{mm}$ 。一般适用于经济型数控机床和旧机床数控化改造。图 1-5 所示为开环数控系统的示意。

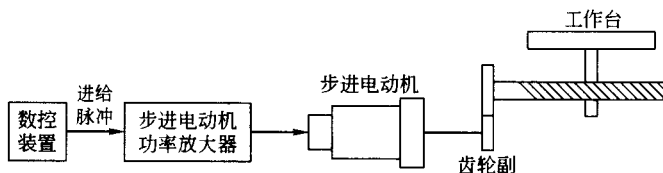


图 1-5 开环数控系统的示意

2. 闭环控制系统

闭环控制系统是指在机床的运动部件上安装位置测量装置（位置测量装置有光栅、感应同步器和磁栅等），如图 1-6 所示。加工中将测量到的实际位置值反馈到数控装置中，与输入的指令位移相比较，用比较的差值控制移动部件，直到差值为零，即实现移动部件的最终精确定位。从理论上讲，闭环控制系统的控制精度主要取决于检测装置的精度，它完全可以消除由于传动部件制造中存在的误差给工件加工带来的影响，所以这种控制系统可以得到很高的加工精度。闭环控制系统的设计和调整都有较大的难度，主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心等。

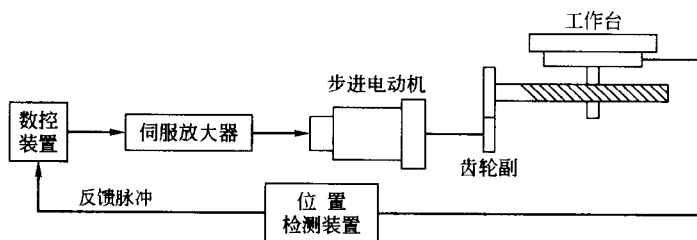


图 1-6 闭环控制系统的示意

3. 半闭环控制系统

半闭环控制系统是在开环系统的丝杠上或进给电动机的轴上装有角位移检测装置，如圆光栅、光电编码器及旋转式感应同步器等。该系统不是直接测量工作台位移量，而是通过检测丝杠转角间接地测量工作台位移量，然后反馈给数控装置，如图 1-7 所示。这种控制系统实际控制的是丝杠的传动，而丝杠的螺母副的传动误差无法测量，只能靠制造保证。因而半

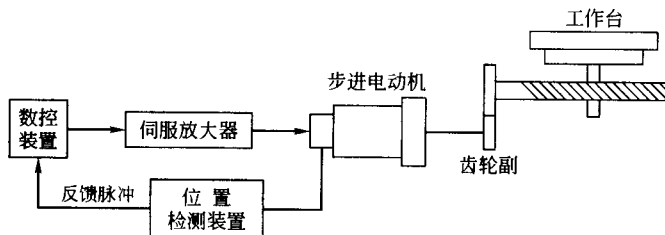


图 1-7 半闭环控制系统的示意

闭环控制系统的精度低于闭环系统。但由于角位移检测装置比直线位移检测装置结构简单、安装调试方便,因此配有精密滚珠丝杠和齿轮的半闭环系统正在被广泛地采用。目前已逐步将角位移检测装置和伺服电动机设计成一个部件,使系统变得更加简单,安装调试都比较方便,中档数控机床广泛采用半闭环控制系统。

(三) 按功能水平分类

按数控系统的功能水平分类,通常把数控系统分为低、中、高档三类。如:金属切削类数控机床、金属成型类数控机床、数控特种加工机床、其他类型的数控机床及低档数控机床(脉冲当量 $0.01\sim 0.005\text{mm}$,快进速度 $4\sim 10\text{m/min}$)、中档数控机床(脉冲当量 $0.005\sim 0.001\text{mm}$,快进速度 $15\sim 24\text{m/min}$)、高档数控机床(脉冲当量 $0.001\sim 0.0001\text{mm}$,快进速度 $15\sim 100\text{m/min}$)等。

经济型低档数控系统一般采用单板机、单片机作为控制机,用步进电机作为执行元件,其系统结构简单,价格便宜,适用于自动化程度要求不高的场合。普及型(中档)的数控系统,其系统结构都向系列化、模块化、高性能和成套方向发展,内存容量较大,采用了高精度、高响应特性的交流或直流伺服单元,装置的可靠性指标较高。这类机床功能较全、价格适中、应用较广。高档型数控系统,一般用于多轴车削中心、多轴铣削中心、自动生产线的多轴控制、柔性加工单元、计算机集成制造系统等。这类数控机床的功能齐全,价格较贵。

五、数控设备的工作原理

数控机床加工过程可以分为以下几个步骤。

1. 程序编制

程序编制是将零件的加工工艺、工艺参数、刀具位移量及位移方向和有关辅助操作,按指令代码及程序格式编制加工程序单,然后,将加工程序单以代码形式记录在信息载体上。程序编制可以是手工编制,也可以是自动编制。对于自动编程,目前已较多地采用计算机 CAD/CAM 图形交互式自动编程,通过计算机有关处理后,自动生成的数控程序,可通过接口直接输入数控系统内。

2. 数控代码和译码

数控代码是用来表示数控系统中的符号、字母和数字的专用代码,并组成数控指令。对数控代码进行识别,并翻译成数控系统能用于运算控制的信号形式称为译码。在计算机数控中,译码之前,先将零件程序存放在缓冲器里。译码时,译码程序依次将一个个字符和相应的数码与缓冲器中零件程序进行比较,若两者相等,说明输入了该字符。译码程序是串行工作的,它有较强的译码速度。

3. 刀具轨迹的计算

刀具轨迹的计算是根据输入译码后的数据段参数,进行刀具补偿计算、绝对值与相对值的换算等,把零件程序提供的工件轮廓信息转换为系统认定的轨迹。

4. 插补运算

插补运算是根据刀具中心点沿各坐标轴移动的指令信息,以适当的函数关系进行各坐标轴脉冲分配的计算。只有通过插补运算,使两个或两个以上坐标轴协调的工作,才能合成所需要的目标位置的几何轨迹,或加工出需要的零件形状。

第二节 现代控制技术及发展

一、数控技术的发展史

由于计算机的诞生,在 1952 年产生了世界上第一台 3 坐标立式数控铣床,标志着数控