

· 工学结合
· 理实一体
· 强化技能
· 面向就业

高等职业教育自动化类专业规划教材·技能实训系列

数控机床控制技术 项目化基础与实训

◎ 赵俊生 主编
◎ 夏金昌 沈为清 李 扬 副主编
◎ 张处武 主审

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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等职业教育自动化类专业规划教材·技能实训系列

数控机床控制技术 项目化基础与实训

	赵俊生	主编	
夏金昌	沈为清	李扬	副主编
	张处武	主审	

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以实训项目为主线,理论联系实际,内容丰富,实用性强。本书主要介绍工厂目前广泛应用的数控机床控制系统,从技术和工程应用的角度出发,为适应不同层次、不同专业的需要,系统地介绍数控机床控制系统的构成、数控机床中常用强电配盘控制的低压电器、数控机床中三相笼形异步电动机典型控制电路分析、数控车床与铣床的电路分析、数控机床检测装置的连接与安装技术、数控机床驱动装置、伺服系统、数控机床交直流伺服电机控制及常用的变频调速技术、数控机床的 PLC 及接口技术、DNC 通信接口与网络接口技术及工程应用等。全书采用“项目式”编法,理论与实训合二为一,突出工程实践能力的培养,可用于学生的理论与实训、课程设计与毕业设计等。

本书可作为高职高专、成人教育和职业学校机电一体化、数控应用技术、电气自动化技术、工业自动化技术、电子信息工程技术、仪表自动化等相关专业的教材和短期培训用书,也可供广大工程技术人员学习参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床控制技术项目化基础与实训 / 赵俊生主编. —北京:电子工业出版社, 2010.9
高等职业教育自动化类专业规划教材·技能实训系列
ISBN 978-7-121-11762-6

I. ①数… II. ①赵… III. ①数控机床—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 173774 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:王昭松

印 刷:北京季峰印刷有限公司

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16.25 字数:416 千字

印 次:2010 年 9 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltis@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神,为了适应社会经济和科学技术的迅速发展及教育教学改革的需要,根据“以就业为导向”的原则,注重以先进的科学发展观调整和组织教学内容,增强认知结构与能力结构的有机结合,强调培养对象对职业岗位(群)的适应程度,经过广泛调研,组织编写机械制造及机械自动化教材,对教材的整体优化力图有所突破,有所创新,供机电一体化应用技术、机械自动化、数控应用技术、模具应用技术等相关专业的学生使用。

编写本教材在内容的选取方面,将理论和实训合二为一,基本上是按照1:1的比例,称为《数控机床控制技术项目化基础与实训》。教材以“必需”、“够用”为度,将知识点做了较为精密的整合,在内容上深入浅出,通俗易懂,力求做到既有利于教,又有利于学,还有利于自学。

本教材在结构的组织方面打破常规,以工程项目为教学主线,通过设计不同的驱动任务将知识点和技能训练融于各个项目之中,项目又按照知识点与技能要求循序渐进编排,突出技能的提高,努力去符合职业教育的工学结合,达到真正符合职业教育的特色。同时从实际出发,以FANUC和SIEMENS数控系统为重点,并着重介绍FANUC、SIEMENS和华中数控系统功能、特点及典型应用,以扩展学生视野,学生接触这些项目后可以实现零距离上岗。

本教材集实验、设计、技能训练为一体,体系新颖,体现了新世纪高职高专教育人才的培养模式和基本要求;将知识点和能力点紧密结合,注重培养学生实际动手能力和解决工程实际问题能力,突出了高等职业教育的应用特色和能力本位;实训项目相对独立,互为体系,内容覆盖面宽,选择性强,可满足不同层次、不同专业的需求。

全书共有22个项目,其中项目1~4由炎黄职业技术学院夏金昌编写,项目9~10以及项目22由林伟编写,项目11、12由李扬编写,项目15~17由沈为清编写,项目18~19由赵伟编写,其余部分由赵俊生编写。本书由赵俊生任主编,夏金昌、沈为清、李扬任副主编,全书由赵俊生负责统稿和总撰工作。

本书由淮阴工学院张处武教授主审,并提出了许多有益的建议和意见。此外在本书编写的过程中还得到了学院领导和教务处、科研处大力支持和帮助,同时也得到许多单位和个人的大力支持,以及书后参考文献的帮助,作者在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中错漏在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2010年5月

目 录

项目1 数控机床控制系统构成的认识	1
1.1 训练目标	1
1.2 实训设备和元器件	1
1.3 相关知识	1
任务学习1 数控机床控制系统构成的认识	1
任务学习2 数控系统的发展	8
1.4 实训内容和步骤	10
1.5 思考与练习	10
项目2 数控机床配盘常用低压电器的认识与拆装	11
2.1 训练目标	11
2.2 实训设备和元器件	11
2.3 相关知识	11
任务学习1 低压电器的基本知识	11
任务学习2 常用的低压控制电器	14
任务学习3 断路器(自动空气开关)	18
2.4 实训内容和步骤	19
2.5 思考与练习	19
项目3 机床交流电动机点长动控制线路的安装	20
3.1 训练目标	20
3.2 实训设备和元器件	20
3.3 相关知识	20
任务学习1 接触器	20
任务学习2 机床电气控制系统图基本知识	23
任务学习3 机床电气控制电路图	25
任务学习4 机床异步电动机单向全压启动控制线路	26
3.4 实训内容和步骤	28
3.5 思考与练习	29
项目4 笼形异步电动机正反转控制线路的安装实训	30
4.1 训练目标	30
4.2 实训设备和元器件	30
4.3 相关知识	30
任务学习1 数控机床强电配盘电磁式继电器	30
任务学习2 数控机床强电配盘热继电器	32
任务学习3 三相笼形异步电动机的可逆旋转控制电路	34
任务学习4 行程开关	36
任务学习5 自动循环控制电路	37
4.4 实训内容和步骤	38

4.5 思考与练习	40
项目5 机床电动机降压启动控制线路的安装	41
5.1 训练目标	41
5.2 实训设备和元器件	41
5.3 相关知识	41
任务学习1 时间继电器	41
任务学习2 笼形异步电动机降压启动控制电路	44
任务学习3 星形/三角形降压换接启动控制线路	47
5.4 实训内容和步骤	49
5.5 思考与练习	50
项目6 三相异步电动机制动控制线路的安装	51
6.1 训练目标	51
6.2 实训设备和元器件	51
6.3 相关知识	51
任务学习1 电磁机械制动	51
任务学习2 电气制动控制电路	53
6.4 实训内容和步骤	58
6.5 思考与练习	59
项目7 数控车床的电气控制线路	60
7.1 训练目标	60
7.2 实训设备和元器件	60
7.3 相关知识	60
任务学习1 数控车床的结构	60
任务学习2 数控车床电气控制线路	61
7.4 实训内容和步骤	65
7.5 思考与练习	68
项目8 数控铣床的电气控制线路	69
8.1 训练目标	69
8.2 实训设备和元器件	69
8.3 相关知识	69
任务学习1 数控铣床的系统概述	69
任务学习2 数控铣床的电气控制线路	72
8.4 实训内容和步骤	73
8.5 思考与练习	74
项目9 光电式旋转编码器	75
9.1 训练目标	75
9.2 实训设备和元器件	75
9.3 相关知识	75
任务学习1 位置检测装置的概述	76
任务学习2 光电编码器	78
任务学习3 光栅	83
9.4 实训内容和步骤	86
9.5 思考与练习	88
项目10 开关型霍尔传感器	89

10.1	训练目标	89
10.2	实训设备和元器件	89
10.3	相关知识	89
	任务学习 1 霍尔传感器	89
	任务学习 2 感应同步器	93
10.4	实训内容和步骤	99
10.5	思考与练习	100
项目 11	步进电动机的驱动控制	101
11.1	训练目标	101
11.2	实训设备和元器件	101
11.3	相关知识	101
	任务学习 1 伺服系统概述	101
	任务学习 2 步进电动机及其驱动系统	103
11.4	实训内容和步骤	109
11.5	思考与练习	110
项目 12	直流伺服电动机及其速度控制	111
12.1	训练目标	111
12.2	实训设备和元器件	111
12.3	相关知识	111
	任务学习 1 直流主轴电动机的工作原理和特性	111
	任务学习 2 直流伺服电动机的工作原理与特性	111
	任务学习 3 直流电动机的速度控制	113
12.4	实训内容和步骤	124
12.5	思考与练习	128
项目 13	数控铣床系统的接线	129
13.1	训练目标	129
13.2	实训设备和元器件	129
13.3	相关知识	129
	任务学习 1 交流伺服电动机的概述	129
	任务学习 2 交流伺服系统的性能参数	132
	任务学习 3 交流伺服电动机的调速原理	137
13.4	实训内容和步骤	138
13.5	思考与练习	142
项目 14	变频器的使用实训	143
14.1	训练目标	143
14.2	实训设备和元器件	143
14.3	相关知识	143
	任务学习 1 变频调速的基本控制方法	143
	任务学习 2 矢量变换的 SPWM 变频器	155
14.4	实训内容和步骤	158
14.5	思考与练习	162
项目 15	FX _{2N} 系列 PLC 的认识	163
15.1	训练目标	163
15.2	实训设备和元器件	163

15.3	相关知识	163
任务学习 1	PLC 的特点和主要功能	163
任务学习 2	PLC 的定义、结构和组成	165
15.4	实训内容和步骤	171
15.5	思考与练习	172
项目 16	PLC 程序执行过程和工作原理	173
16.1	训练目标	173
16.2	实训设备和元器件	173
16.3	相关知识	173
任务学习 1	FX _{2N} 系列 PLC 的软件系统	173
任务学习 2	PLC 的工作原理	176
任务学习 3	PLC 工作过程举例	178
16.4	实训内容和步骤	181
16.5	思考与练习	181
项目 17	三相异步电动机的启动和可逆 PLC 控制	182
17.1	训练目标	182
17.2	实训设备和元器件	182
17.3	相关知识	182
任务学习 1	FX _{2N} 系列 PLC 的基本指令及编程方法	183
任务学习 2	典型的控制回路分析	187
17.4	实训内容和步骤	187
17.5	思考与练习	189
项目 18	数控机床步进电动机 PLC 的速度控制	190
18.1	训练目标	190
18.2	实训设备和元器件	190
18.3	相关知识	190
任务学习 1	多重输出指令	190
任务学习 2	编程注意事项及编程技巧	193
18.4	实训内容和步骤	195
18.5	思考与练习	198
项目 19	数控车床液压尾座 PLC 控制	199
19.1	训练目标	199
19.2	实训设备和元器件	199
19.3	相关知识	199
任务学习 1	数控机床的 PLC	199
任务学习 2	数控机床 PLC 的程序编制	202
任务学习 3	液压与气动控制回路图	207
19.4	实训内容和步骤	207
19.5	思考与练习	208
项目 20	数控机床润滑系统的控制	209
20.1	训练目标	209
20.2	实训设备和元器件	209
20.3	相关知识	209
任务学习 1	输入/输出及其通信接口	209

任务学习 2 数控系统常用的串行通信接口标准	212
20.4 实训内容和步骤	213
20.5 思考与练习	217
项目 21 数控机床主轴的运动控制	218
21.1 训练目标	218
21.2 实训设备和元器件	218
21.3 相关知识	218
任务学习 1 DNC 通信接口技术	218
任务学习 2 PLC 位置控制	221
21.4 实训内容和步骤	223
21.5 思考与练习	226
项目 22 典型数控系统介绍	227
22.1 FANUC 数控系统	227
任务学习 1 FANUC 数控系统简介	227
任务学习 2 FANUC 数控系统功能特点	229
任务学习 3 FANUC 0i 数控系统的连接	229
22.2 SIEMENS 数控系统	235
任务学习 1 SIEMENS 数控系统简介	235
任务学习 2 SIEMENS 数控系统的特点	236
任务学习 3 SIEMENS 数控系统的连接	237
22.3 华中数控系统	242
任务学习 1 华中数控系统简介	242
任务学习 2 华中“世纪星”系列数控系统功能和特点	242
任务学习 3 华中数控系统的连接	243
参考文献	249

项目 1 数控机床控制系统构成的认识

1.1 训练目标

- (1) 通过学习掌握数控设备的组成,数控机床控制系统的构成和分类。
- (2) 了解数控车床、铣床、加工中心等设备的结构、运动与控制系统。
- (3) 通过训练,了解位置检测、伺服电动机等的控制。
- (4) 通过实训,认识数控机床的 PLC 与接口、数控编程、数控设备的工作原理等内容。

1.2 实训设备和元器件

任务所需的实训设备和元器件见表 1-1。

表 1-1 实训设备和元器件明细表

名 称	型号或规格	数 量	名 称	型号或规格	数 量
数控车床西门子 802S 系统	CK6136	14 台	数控机床实验台	NNC-R1	1 台
	CK6140	4 台	数控机床车床维修实验台	NNC-RTS	2 台
	CK6132	2 台	数控机床铣床维修实验台	NNC-RMS	3 台
数控铣床 FANUC 0-i 系统	XK7136	4 台	加工中心 FANUC 0-MD 数控系统	XH714	2 台
	XK5025	4 台			

1.3 相关知识

任务学习 1 数控机床控制系统构成的认识

1. 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、功能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。

2. 数控设备的组成

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

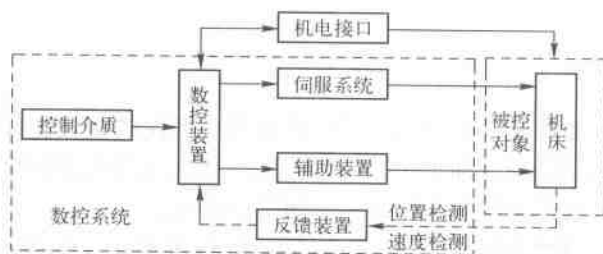


图 1-1 数控设备组成示意图

(1) 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，反映了数控加工中的全部信息。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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

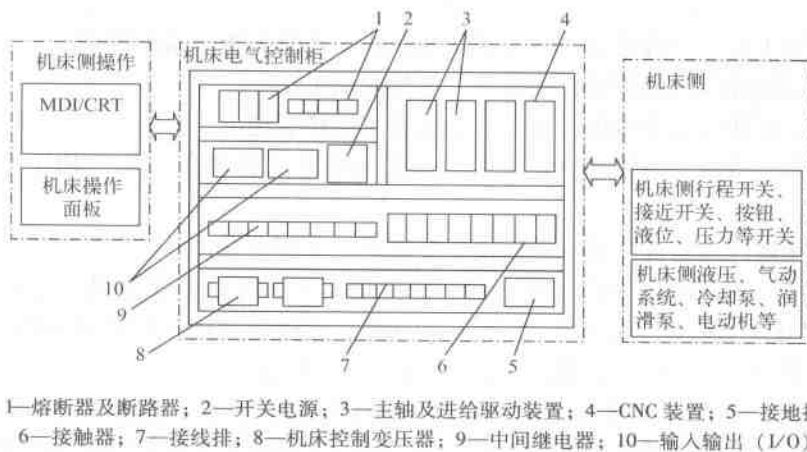


图 1-2 数控机床电气控制柜的示意图

(5) 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。

(6) 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,机械传动结构简化,传动链较短,传动精度高。

② 数控机床的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。

(7) 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。

3. 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给数控系统。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作,具有充分的柔性,只要编制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) 可加工形状复杂的零件,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,主要有以下三方面内容:

① 主轴运动。主轴运动和普通机床一样,主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机床最根本的地方,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。

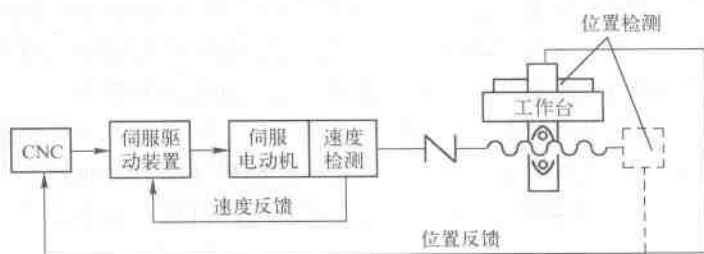


图 1-3 数控机床的进给伺服系统

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、润滑油泵、液压系统和气动系统进行控制。

根据国际标准《ISO 4336—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。如图1-4所示为数控装置、数控设备和机床之间的连接关系。

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。

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。

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、润滑油泵电动机等）、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。

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。

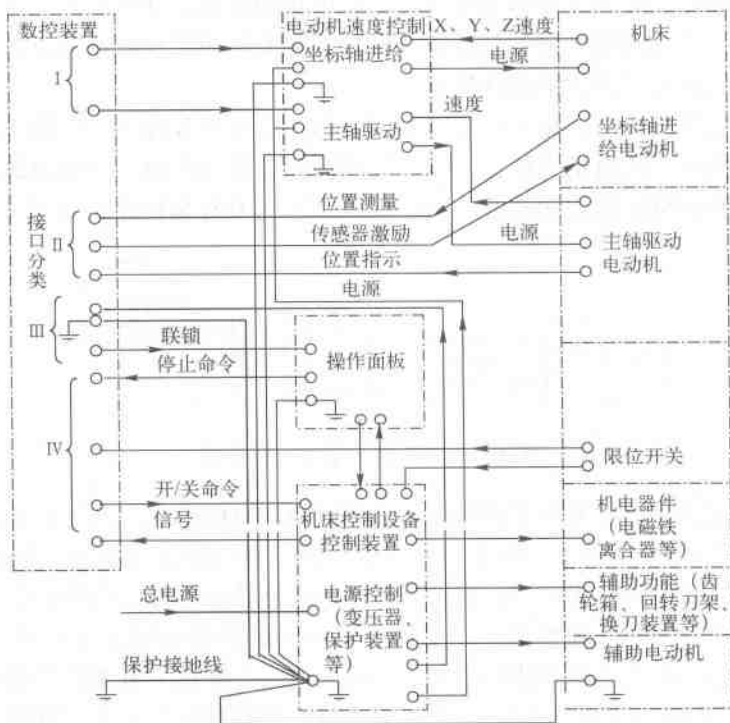


图 1-4 数控装置、数控设备和机床之间的连接

4. 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。

(1) 按被控制对象运动轨迹进行分类。

① 点位控制的数控机床。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。为了精度定位和提高生产率，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。直线控制的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2~3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的组成的复杂零件。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。

(2) 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的,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。如图1-5所示为开环数控系统的示意图。

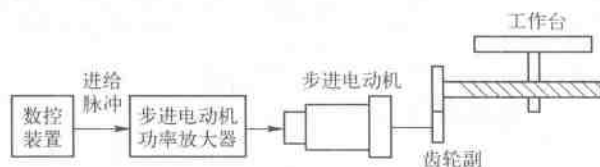


图 1-5 开环数控系统的示意图

② 闭环控制数控机床。闭环控制数控机床是指在机床的运动部件上安装位置测量装置(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。

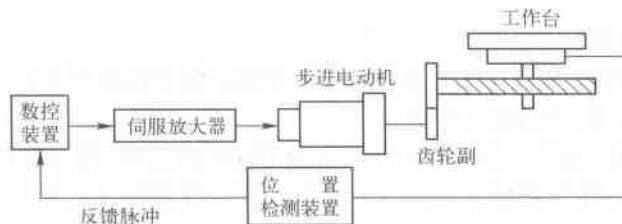


图 1-6 闭环数控系统的示意图

③ 半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床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。

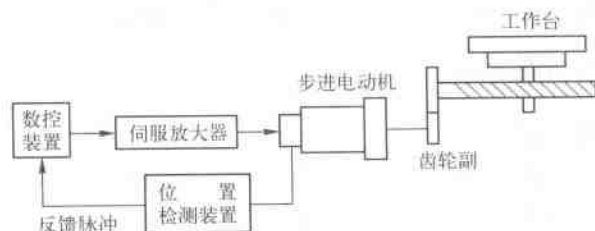


图 1-7 半闭环数据系统的示意图

半闭环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。

(3) 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 $0.01\text{mm} \sim 0.005\text{mm}$,快进速度 $4 \sim 10\text{m/min}$)、中档数控机床(脉冲当量 $0.005\text{mm} \sim 0.001\text{mm}$,快进速度 $15 \sim 24\text{m/min}$)、高档数控机床(脉冲当量 $0.001\text{mm} \sim 0.0001\text{mm}$,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。这类数控机床功能齐全,价格较贵。

5. 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,通过计算机处理后,自动生成的数控程序可通过接口直接输入到数控系统内。

(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,它有较高的译码速度。

(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。

任务学习2 数控系统的发展

1. 数控系统的发展过程

采用数字控制技术进行机械加工的思想最早起源于20世纪40年代,美国帕森斯公司与麻省理工学院合作,于1952年研制出世界上第一台三坐标数控铣床,其数控系统是由电子管组成的NC系统。随着微电子技术和计算机技术的进步,数控系统的发展经历了以下几代:

第一代数控系统:1952~1959年,采用电子管、继电气元件;

第二代数控系统:从1959年开始,采用晶体管元件;

第三代数控系统:从1965年开始,采用小规模集成电路;

第四代数控系统:从1970年开始,采用大规模集成电路及小型计算机;

第五代数控系统:从1974年开始,采用微型计算机;

第六代数控系统:从1987年开始,开放式数控系统。

其中,前三代属于硬件逻辑数控系统(NC),从第四代以后为计算机数控系统(CNC)。

2. 数控系统的发展趋势

(1) 高速高精度。速度和精度是数控系统的两个重要指标,它直接关系到数控机床的加工效率和产品的质量。在超高速切削、超精密加工技术的实施中,机床各坐标轴的位移速度和定位精度是有更高要求的,但这两项技术指标却是互相制约的,也就是说位移速度提高,定位精度将下降。现代数控机床进给速度和位移分辨率的关系为 $400\text{mm/min} \sim 800\text{mm/min}$ 对应 $0.01\mu\text{m}$, 24m/min 对应 $0.1\mu\text{m}$, $100\text{m/min} \sim 240\text{m/min}$ 对应 $1\mu\text{m}$ 。为实现更高速度、更高精度的目标,目前主要在以下几个方面进行研究。

① 数控系统。采用位数、频率更高的微处理器来提高系统的插补运算和精度。

② 伺服驱动系统。采用专用CPU(一般是DSP芯片)控制伺服电动机,组成全数字式交流伺服系统,从而大大提高系统的定位精度和进给速度。在全数字式交流伺服系统中,采用现代控制理论,通过计算机软件实现最优控制。PID控制由软件实现,位置环、速度环、电流环全部数字化。

伺服电动机由旋转式向直线式发展,实现机床工作台的“零传动”进给方式。直线电动机满足了数控机床的进给速度向高速、超高速方向发展的要求。

③ 机床静、动摩擦的非线性补偿技术。机械静、动摩擦的非线性会导致机床的爬行。除了在机械结构上采取措施减小摩擦外,新型的数控系统具有自动补偿非线性摩擦的控制功能。

④ 大功率电主轴的应用。当主轴转速达到 $10000\text{r/min} \sim 75000\text{r/min}$ 时,齿轮变速已经不能满足要求,为此出现了内装式电动机主轴(Build-in Motor Spindle, BMS),简称电主轴。它实现了变频电动机与机床主轴的一体化,电动机的转子直接套装在机床主轴上,机床主轴单元的壳体就是电动机座。

⑤ 配置高速、功能强的内置式可编程控制器(PLC)。新型的PLC具有专用的CPU,基