



职 · 场 · 金 · 钥 · 匙

数控机床电气 及PLC控制技术

■ 张华宇 谢凤芹 丁鸿昌 陈毕胜 编著



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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

职场金钥匙

数控机床电气及 PLC 控制技术

张华宇 谢凤芹 丁鸿昌 陈毕胜 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以培养技能型人才为目标,从应用角度出发介绍数控机床电气与 PLC 控制技术。主要包括绪论、数控机床常用低压电器、数控机床电气控制基础、PLC 编程入门及指令系统、数控机床 PLC 控制系统设计、典型机床电气控制技术、数控机床电气及 PLC 控制技术项目训练实例等内容。

本书既有数控机床电气和 PLC 控制方面的基本内容,又有相关控制技术和程序设计,还有项目实训等内容。在编写过程中注意循序渐进,内容由浅入深;注重理论和实践的结合,各章均配有一定数量的习题,使读者在掌握基本理论知识的同时,提高分析问题和动手的能力。

本书可作为高等工科院校机械制造、机电一体化学生学习数控技术的教材,也可作为高等职业技术学院相关专业教材,还可供有关教师与工程技术人员参考。

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

数控机床电气及 PLC 控制技术 / 张华宇等编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.3

职场金钥匙

ISBN 978-7-121-10275-2

I. 数… II. 张… III. ①数控机床—电气控制 ②可编程序控制器 IV. 1①G659 TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 013300 号

策划编辑: 张 剑 (zhang@phei.com.cn)

责任编辑: 徐 萍

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 17.5 字数: 448 千字

印 次: 2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 33.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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 zltz@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

本书的编写宗旨是通过介绍数控机床电气和 PLC 控制技术及应用问题，培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书在编写中力求通俗易懂、理论联系实际、注重应用。从数控机床常用电器基础知识入手，由浅入深，逐步介绍数控机床常用低压电器、PLC 编程入门、数控机床电气控制、机床电气与 PLC 控制技术的结合、机床 PLC 控制系统的设计和大量机床 PLC 控制技术的项目实训等内容。每一章后都配有适量的习题，帮助读者掌握相关的知识点；特别加强了实践训练部分的内容，能够让读者更好地将理论联系实际，掌握本书的知识。

本书以国内广泛使用的三菱公司 FX 系列 PLC 为背景，介绍 PLC 的工作原理、特点、编程元件与指令系统，并从工程应用的角度出发，详细介绍梯形图程序的常用设计方法、PLC 系统设计方法、PLC 在实际应用中应注意的问题。

本书第 1 章主要介绍数控机床的发展过程及发展动向，使读者对数控机床有一个初步的了解和掌握；第 2 章介绍常用低压电器的工作原理、基本结构等知识；第 3 章介绍电机伺服系统的工作原理及控制方式、电气原理图的绘制等内容；第 4 章介绍 PLC 基本编程方法和梯形图绘制；第 5 章介绍数控机床 PLC 系统设计与控制的应用实例；第 6 章介绍几种典型数控机床电气控制电路的设计实例与分析；第 7 章是综合的机床电气与 PLC 控制的项目实训。

本书由张华宇、谢凤芹、丁鸿昌和陈毕胜编著。张华宇编写本书的第 3、5 章和附录，谢凤芹编写本书的第 1、2 章，丁鸿昌编写本书的第 4、7 章，陈毕胜编写本书第 6 章。其他参加编写工作的还有管殿柱、孙海燕、路娟、宋一兵、王献红、李文秋、张轩等。

由于作者水平有限，加之数控技术的发展日新月异，许多问题还有待于探讨，书中难免有不足和错误之处，恳请读者批评指正。

编 著 者
2009 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床的组成与分类	1
1.1.1 数控机床简介	1
1.1.2 数控机床的组成	2
1.1.3 数控机床的分类	3
1.2 机床数控技术的发展过程	7
1.2.1 数控机床的产生和发展	8
1.2.2 数控机床的发展动向	8
1.2.3 我国数控机床的发展情况	8
1.3 本章小结	9
1.4 思考与练习	10
第 2 章 数控机床常用低压电器	11
2.1 低压电器的电磁机构及执行机构	11
2.1.1 电磁机构	11
2.1.2 触头系统	12
2.1.3 灭弧系统	13
2.2 开关电器	14
2.2.1 低压刀开关	14
2.2.2 组合开关	15
2.2.3 低压断路器	16
2.3 熔断器	17
2.3.1 熔断器的种类	17
2.3.2 熔断器的工作原理	18
2.3.3 熔断器的主要参数	19
2.4 主令电器	19
2.4.1 控制按钮	20
2.4.2 行程开关	20
2.4.3 万能转换开关	21
2.4.4 主令开关	22
2.5 接触器	22
2.5.1 接触器的结构和工作原理	22
2.5.2 接触器的主要技术参数和型号含义	23
2.6 继电器	26

2.6.1	电压、电流继电器	26
2.6.2	时间继电器	26
2.6.3	中间继电器	28
2.6.4	热继电器	29
2.6.5	速度继电器	30
2.6.6	固态继电器	30
2.7	执行电器	31
2.7.1	电磁铁	31
2.7.2	电磁离合器	32
2.8	本章小结	34
2.9	思考与练习	35
第3章	数控机床电气控制基础	36
3.1	步进电动机伺服系统及其控制	36
3.1.1	步进电动机的基本类型	36
3.1.2	步进电动机位置控制系统	38
3.1.3	步进电动机驱动电路	40
3.1.4	步进电动机的特性	41
3.2	直流伺服电动机调速系统及其控制	42
3.2.1	直流伺服电动机的结构及调速	43
3.2.2	直流伺服电动机的机械特性	43
3.2.3	直流伺服电动机的特点及应用	44
3.3	交流伺服电动机调速系统及其控制	44
3.3.1	交流伺服电动机的分类及结构	44
3.3.2	交流伺服电动机的接线	45
3.3.3	交流伺服电动机的运行特性	45
3.4	数控机床电气原理图的画法规则	46
3.4.1	电气原理图	46
3.4.2	电气安装图	48
3.4.3	电气接线图	48
3.4.4	图面区域的划分	49
3.5	数控机床电气控制的逻辑表示	49
3.6	电气控制基本环节	50
3.6.1	三相笼型异步电动机的直接启动控制线路	50
3.6.2	三相笼型异步电动机的降压启动控制线路	52
3.6.3	电动机正反转控制线路	54
3.6.4	电动机制动控制线路	55
3.6.5	双速电动机的高低速控制线路	58
3.6.6	电动机的保护环节	59
3.6.7	电液联合控制	60

3.7	机床电气控制线路应用示例	62
3.7.1	C650 型卧式车床的电气控制线路	62
3.7.2	X62W 型万能升降台铣床的电气控制线路	66
3.8	Z3040 型摇臂钻床的电气控制线路	70
3.9	T68 型卧式镗床的电气控制线路	73
3.10	M7120 型平面磨床的电气控制线路	77
3.10.1	平面磨床的结构与控制特点	77
3.10.2	控制电路工作原理	79
3.10.3	电磁吸盘充、退磁电路的改进	80
3.11	组合机床电气控制系统	82
3.11.1	机械动力滑台控制线路	82
3.11.2	液动力滑台控制线路	83
3.12	本章小结	85
3.13	思考与练习	86
第 4 章	PLC 编程入门及指令系统	87
4.1	PLC 概述	87
4.1.1	PLC 的基本结构	87
4.1.2	PLC 的物理结构	88
4.1.3	PLC 的工作原理	89
4.1.4	PLC 的特点	92
4.1.5	PLC 的应用领域	93
4.1.6	PLC 的主要生产厂家	94
4.2	FX 系列 PLC 性能简介	94
4.2.1	FX 系列 PLC 的特点	94
4.2.2	FX 系列 PLC 型号名称的含义	96
4.2.3	FX 系列 PLC 的一般技术指标	96
4.2.4	FX1S 和 FX1N 系列 PLC	97
4.2.5	FX2N 系列 PLC	97
4.2.6	编程设备与人机接口	99
4.2.7	GOT-900 图形操作终端	101
4.3	PLC 程序设计基础	101
4.3.1	PLC 编程语言的国际标准	101
4.3.2	梯形图的主要特点	103
4.4	FX 系列 PLC 梯形图中的编程元件	103
4.4.1	基本数据结构	103
4.4.2	输入继电器与输出继电器	104
4.4.3	辅助继电器 (M)	105
4.4.4	状态继电器 (S)	106
4.4.5	定时器 (T)	106

4.4.6	内部计数器 (C)	108
4.4.7	高速计数器 (HSC)	109
4.4.8	数据寄存器	111
4.4.9	指针 P/I	112
4.4.10	常数	112
4.5	FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	113
4.5.1	LD, LDI, OUT 指令	113
4.5.2	触点的串、并联指令	113
4.5.3	LDP, LDF, ANDP, ANDF, ORP 和 ORF 指令	114
4.5.4	PLS 与 PLF 指令	114
4.5.5	电路块的串、并联指令	115
4.5.6	栈存储器与多重输出指令	115
4.5.7	主控与主控复位指令 MC, MCR	116
4.5.8	SET 与 RST 指令	117
4.5.9	取反、空操作与 END 指令	118
4.5.10	编程注意事项	118
4.6	PLC 的应用指令	119
4.6.1	FX 系列 PLC 应用指令的表示方法与数据	120
4.6.2	程序流控制指令	122
4.6.3	与中断有关的指令	124
4.6.4	循环指令	125
4.6.5	比较与传送指令	126
4.6.6	算术运算与字逻辑运算指令	129
4.6.7	移位指令	130
4.6.8	数据处理指令	131
4.6.9	处理指令	132
4.6.10	方便指令	134
4.6.11	外部 I/O 设备指令	136
4.6.12	FX 系列外部设备指令	141
4.6.13	浮点数运算指令	144
4.6.14	时钟运行指令	145
4.6.15	其他指令	147
4.7	PLC 应用系统的设计调试方法	148
4.7.1	系统规划与设计	148
4.7.2	PLC 及其组件的选型	149
4.7.3	硬件、软件设计与调试	151
4.8	本章小结	153
4.9	思考与练习	153

第 5 章 数控机床 PLC 控制系统设计	155
5.1 数控机床 PLC 系统设计及调试	155
5.1.1 PLC 系统的设计原则与步骤	156
5.1.2 PLC 程序设计	157
5.1.3 PLC 调试	159
5.2 PLC 在数控机床中的应用实例	160
5.3 数控机床 PLC 控制应用实例	163
5.4 减少 I/O 点数的措施	166
5.5 提高 PLC 在数控机床控制系统中可靠性的措施	167
5.5.1 PLC 的安装	167
5.5.2 合理的安装与布线	167
5.5.3 必需的安全保护环节	168
5.5.4 冗余系统与热备用系统	170
5.6 PLC 控制系统的维护和故障诊断	171
5.6.1 PLC 控制系统的维护	171
5.6.2 PLC 的故障诊断	172
5.7 本章小结	173
5.8 思考与练习	173
第 6 章 典型机床电气控制技术	174
6.1 机床电气控制电路的设计	174
6.1.1 机床电气控制电路的设计方法与注意事项	174
6.1.2 机床电气控制电路的设计实例	178
6.2 数控机床电气控制电路设计原则	180
6.2.1 电气控制电路设计原则	180
6.2.2 数控系统功能的选择	181
6.3 数控机床电气设计的一般内容	181
6.4 TK1640 型数控车床电气控制电路	183
6.4.1 电气原理图的分析方法和步骤	183
6.4.2 TK1640 数控车床介绍	184
6.4.3 TK1640 数控车床的电气控制电路	185
6.5 XK714A 型数控铣床电气控制电路	189
6.5.1 XK714A 数控铣床介绍	189
6.5.2 XK714A 数控铣床的电气控制电路	191
6.6 本章小结	194
6.7 思考与练习	194
第 7 章 数控机床电气及 PLC 控制技术项目训练实例	195
7.1 三相异步电动机单方向启动、停止及点动控制	195
7.1.1 启动、停止控制线路	195
7.1.2 点动控制线路	196

7.1.3	多点控制线路	197
7.1.4	可逆运行控制线路	197
7.2	FX2N 系列 PLC 的硬件连接与基本指令练习	199
7.2.1	PLC 与电源连接	199
7.2.2	PLC 输入接口连接	199
7.2.3	PLC 输出接口连接	200
7.2.4	FX2N 系列 PLC 基本指令练习	202
7.3	PLC 控制异步电动机Y- Δ 启动	211
7.3.1	异步电动机的启动方式	211
7.3.2	大电动机的 Y- Δ 启动控制	212
7.4	PLC 控制电动机循环正、反转	213
7.4.1	C650 车床控制元件配置	213
7.4.2	主电动机正、反转控制	216
7.4.3	主电动机点动控制	216
7.4.4	点动停止和反接制动	216
7.4.5	主电动机反接制动	217
7.4.6	实验设备及线路连接	218
7.5	C650 卧式车床的电气及 PLC 控制系统	219
7.5.1	C650 卧式车床的主要结构与运动分析	219
7.5.2	C650 卧式车床的电气控制线路分析	220
7.5.3	C650 卧式车床的 PLC 控制系统	222
7.6	Z3040 摇臂钻床的电气及 PLC 控制系统	225
7.6.1	Z3040 摇臂钻床的电气控制系统	225
7.6.2	Z3040 摇臂钻床的 PLC 控制系统	228
7.6.3	Z3040 摇臂钻床电气线路的故障与维修	231
7.6.4	Z3040 摇臂钻床电气模拟装置的试运行操作	232
7.6.5	Z3040 摇臂钻床电气控制线路故障及排除实训	233
7.7	T68 卧式镗床电气及 PLC 控制系统实训	236
7.7.1	T68 卧式镗床的实训内容	236
7.7.2	T68 卧式镗床电气线路的工作原理	237
7.7.3	电气控制线路的分析	239
7.7.4	T68 卧式镗床电气线路故障与维修	241
7.7.5	T68 卧式镗床电气模拟装置的试运行操作	242
7.7.6	T68 卧式镗床电气控制线路故障及排除实训	243
7.8	X62W 万能铣床电气及 PLC 控制系统实训	246
7.8.1	X62W 万能铣床的实训内容	246
7.8.2	X62W 万能铣床电气原理图	246
7.8.3	机床分析	246
7.8.4	X62W 万能铣床电气线路故障与维修	252
7.8.5	X62W 万能铣床模拟装置的安装与试运行操作	253

7.8.6 X62W 万能铣床电气控制线路故障及排除实训	255
7.8.7 教学演示、故障图及设置说明	257
7.9 本章小结	258
7.10 思考与练习	258
附表 A 电气设备常用基本文字符号	259
附表 B FX 系列 PLC 功能指令一览表	263
参考文献	267

第1章 绪 论

数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术。在现代机械制造领域中，数控技术已成为核心技术之一，是实现柔性制造（Flexible Manufacturing, FM）、计算机集成制造（Computer Integrated Manufacturing, CIM）、工厂自动化（Factory Automation, FA）的重要基础技术之一。数控技术较早地应用于机床设备中，本书中的数控技术具体指机床数控技术。

【本章重点】

- 了解数控机床的产生；
- 熟悉数控机床的应用范围及组成；
- 熟悉数控机床的分类；
- 了解数控机床的发展趋势。

1.1 数控机床的组成与分类

1.1.1 数控机床简介

数字控制（Numerical Control），简称 NC，是近代发展起来的用数字化信息进行控制的自动控制技术。数字控制系统有如下特点：

- ① 可用不同的字长表示不同的精度信息，表达信息准确；
- ② 可进行逻辑、算术运算，也可进行复杂的信息处理；
- ③ 可不用改动电路或机械机构，通过改变软件来改变信息处理的方式过程，具有柔性化。

由于数字控制系统具有上述特点，故被广泛应用于机械运动的轨迹控制，如数控机床、工业机器人、数控线切割机、数控火花切割机等。

数控机床（Numerical Control Machine Tools）是指采用数字形式信息控制的机床。也就是一种将数字计算技术应用于机床的控制技术，并把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示，通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号，控制机床的动作，按图纸要求的形状和尺寸，自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题，是一种柔性的、高效能的自动化机床，代表了现代机床控制技术的发展方向，是一种典型的机电一体化产品。

下面可用图 1-1 来描述数控设备的一般形式。图中 A 为被加工工件的图纸，图纸上的数据大致分为两类：几何数据和工艺数据。这些数据是指示给数控设备命令的原始依据（简称“指令”）。B 为控制介质（或程序介质、输入介质），通常用纸带、磁带、磁盘等作为记载指令的控制介质。C 为数据处理和控制的电路，通常是一台控制计算机。原始数据经过它处理后，变成伺服机构能够接收的位置指令和速度指令。D 为伺服机构（或伺服系统），可以把“控制计算机（C）”比拟为人的“大脑”，则“伺服机构（D）”相当于人的“手”和“足”，我们要求伺服机构无条件地执行“大脑”的意志。E 为数控设备。F 为加工后的物



件。这就是一般数控设备的工作过程，整个加工过程如图 1-2 所示。

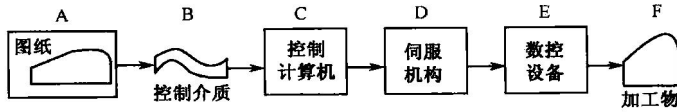


图 1-1 数控设备的一般形式

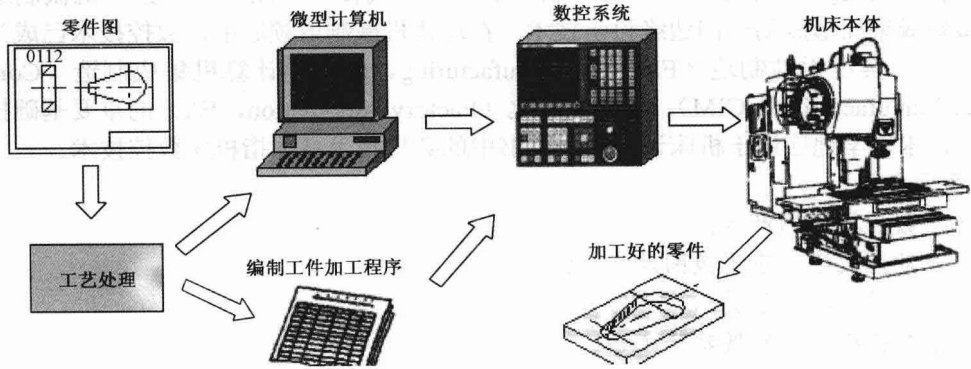


图 1-2 数控机床的工作过程

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题，是一种灵活的、高效的自动化机床，尤其对于约占机械加工总量 80% 的单件、小批量零件的加工，更显示出其特有的灵活性。概括起来，采用数控机床有以下几方面的优点：

- ① 提高加工精度，尤其提高了同批零件加工的一致性，使产品质量稳定；
- ② 提高生产效率，一般提高效率 3~5 倍，使用数控加工中心机床则可提高生产效率 5~10 倍；
- ③ 可加工形状复杂的零件；
- ④ 减轻了劳动强度，改善了劳动条件；
- ⑤ 有利于生产管理和机械加工综合自动化的发展。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成。图 1-3 中实线所示为开环控制的数控机床框图。

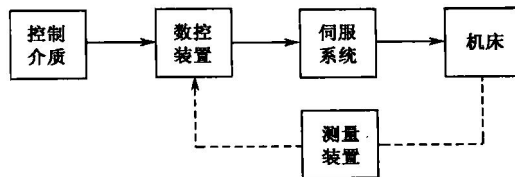


图 1-3 数控机床的组成

为了提高机床的加工精度，在上述系统中再加入一个测量装置（即图 1-3 中的虚线部分），这样就构成了闭环控制的数控机床框图。开环控制系统的工作过程是：将控制机床工作台运动的位移量、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过控制介质输入给机床数控装置，数控装置根据这些参量指令计算出进给脉冲序列（包含上述 4 个参量），然后经伺服



系统转换放大,最后控制工作台按所要求的速度、轨迹、方向和距离移动。若为闭环系统,则在输入指令值的同时,反馈装置将检测机床工作台的实际位移值,反馈量与输入量在数控装置中进行比较,若有差值,说明有误差,则数控装置控制机床向着消除误差的方向运动。

现结合数控机床的工作过程将各组成部分简述如下。

1. 控制介质

数控机床工作时,不需要人工去摇手柄操作机床,而是自动地执行人们的意图,这就必须在人和数控机床之间建立某种联系,这种联系的媒介物称为控制介质(或称程序介质、输入介质、信息载体)。

常用的控制介质是 8 单位的标准穿孔带,且常用的穿孔带是纸质的,所以又称纸带。其宽为 25.4mm,厚 0.108mm,每行除了必须有一个 $\phi 1.17\text{mm}$ 的同步孔外,最多可以有 8 个 $\phi 1.33\text{mm}$ 的信息孔。用每行 8 个孔有无的排列组合来表示不同的代码(纸带上孔的排列规定称为代码)。把穿孔带输入数控装置的读带机,再由读带机把穿孔带上的代码转换为数控装置可以识别和处理的电信号,并传送到数控装置中,便完成了指令信息的输入工作。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,在普通数控机床中一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收输入介质的信息,并将其代码加以识别、储存、运算,输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统,进而控制机床动作。在计算机数控机床中,由于计算机本身即含有运算器、控制器等上述单元,因此该数控装置的作用由一台计算机来完成。

3. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换为机床移动部件的运动,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。

在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件有功率步进电机、电液脉冲电动机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

4. 机床

数控机床中的机床,在开始阶段使用通用机床,只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面作些改变。实践证明,数控机床除由于切削用量大、连续加工发热多等因素影响工件精度外,还因为是自动控制,在加工中不能像在通用机床上那样可以随时由人工进行干预,所以其设计要求比通用机床更严格,制造要求更精密。因而后来在数控机床设计时,采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施,使数控机床的外部造型、整体布局、传动系统及刀具系统等方面发生了很大的变化。

1.1.3 数控机床的分类

目前,数控机床品种比较齐全,规格繁多,据不完全统计已有 400 多个品种规格,可以按照多种原则进行分类。但归纳起来,常见的是以下面 4 种方法来分类的。

1. 按工艺用途分类

(1) 一般数控机床

这类机床和传统的通用机床种类一样,有数控的车、铣、镗、钻、磨床等,而且每一种又有很多品种,如数控铣床中就有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。这类机床的工艺可能



性和通用机床相似，所不同的是它能加工复杂形状的零件。

(2) 数控加工中心机床

这类机床是在一般数控机床的基础上发展起来的。它是在一般数控机床上加装一个刀库（可容纳 10~100 把刀具）和自动换刀装置而构成的一种带自动换刀装置的数控机床（又称多工序数控机床或镗铣类加工中心，习惯上简称为加工中心——Machining Center），这使数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。

数控加工中心机床和一般数控机床的区别是：工件经一次装夹后，数控装置就能控制机床自动地更换刀具，连续地对工件各加工表面自动完成铣（车）、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。这类机床大多是以镗铣为主的，主要用来加工箱体零件。它和一般的数控机床相比具有如下优点：

- ① 减少机床台数，便于管理，对于多工序的零件只要一台机床就能完成全部加工，并可以减少半成品的库存量；
- ② 由于工件只需要一次装夹，因此减少了由于多次安装造成的定位误差，可以依靠机床精度来保证加工质量；
- ③ 工序集中，减少了辅助时间，提高了生产率；
- ④ 由于零件在一台机床上一次装夹就能完成多道加工工序，所以大大减少了专用夹具的数量，进一步缩短了生产准备时间。

由于数控加工中心机床的优点很多，深受用户欢迎，因此在数控机床生产中占有很重要的地位。

另外还有一类加工中心，是在车床基础上发展起来的，以轴类零件为主要加工对象，除可进行车削、镗削外，还可以进行端面和周面上任意部位的钻削、铣削和攻丝加工。这类加工中心也设有刀库，可安装 4~12 把刀具，习惯上称此类机床为车削中心（Turning Center, TC）。

(3) 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件，用三坐标的数控机床还是无法加工，如螺旋桨、飞机曲面零件的加工等，需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需形状。于是出现了多坐标的数控机床，其特点是数控装置控制的轴数较多，机床结构也比较复杂，其坐标轴数通常取决于加工零件的工艺要求，现在常用的是 4, 5, 6 坐标的数控机床。图 1-4 所示为五轴联动的数控加工示意图。图中， X , Y , Z 三个坐标与转台的回转 (u)、刀具的摆动 (v) 可同时联动，以加工机翼等类零件。

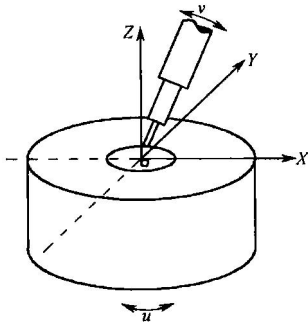


图 1-4 五轴联动的数控加工方式

2. 按运动轨迹分类

按照能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹，可将数控机床分为点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床等。

(1) 点位控制数控机床

这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置（点）精确地移动到另一个位置（点），即仅控制行程终点的坐标值，在移动过程中不进行任何切削加工，至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位的基础上有尽可能高的生产率，两相关点之间的移动先是以快速移动到接近新的位置，然后降速 1~3 级，使之慢速



趋近定位点，以保证其定位精度。数控系统的点位控制方式如图 1-5 (a) 所示。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等，其相应的数控装置称为点位控制装置。

(2) 直线控制数控机床

这类机床工作时，不仅要控制两相关点之间的位置（即距离），还要控制两相关点之间的移动速度和路线（即轨迹），其路线一般都由和各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于，当机床的移动部件移动时，可以沿一个坐标轴的方向（一般地也可以沿 45° 斜线进行切削，但不能沿任意斜率的直线切削）进行切削加工，而且其辅助功能比点位控制的数控机床多，例如，增加了主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。数控系统的直线控制方式如图 1-5 (b) 所示。

这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等。相应的数控装置称为点位直线控制装置。

(3) 轮廓控制数控机床

对一些数控机床，如数控铣床、加工中心等，要求能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制，使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓的要求，具有这种运动控制的机床称为轮廓控制数控机床。该类机床在加工过程中，每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格的不间断的控制。

对于轮廓控制数控机床，根据同时控制坐标轴的数目可将其分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴和五轴联动。两轴联动同时控制两个坐标轴，实现二维直线、圆弧、曲线的轨迹控制；两轴半联动除了控制两个坐标轴联动外，还同时控制第三个坐标轴作周期性进给运动，可以实现简单曲面的轨迹控制；三轴联动同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，实现曲面的轨迹控制；四轴或五轴联动除了控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴外，还能同时控制一个或两个回转坐标轴，如工作台的旋转、刀具的摆动等，从而实现复杂曲面的轨迹控制。数控系统的轮廓控制方式如图 1-5 (c) 所示。

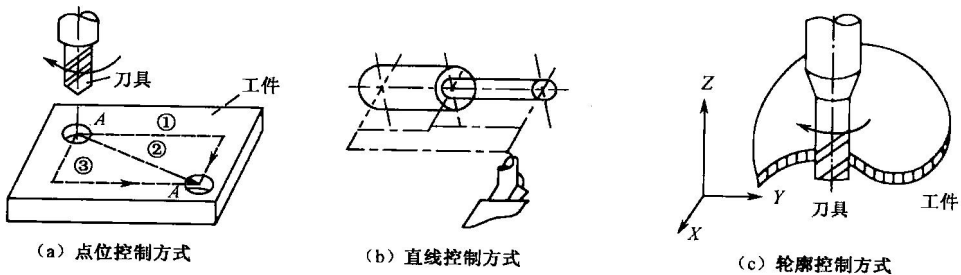


图 1-5 数控系统的运动控制方式

由于加工中心同时具有点位和轮廓控制功能，直线控制的数控机床又很少，因此按上述运动轨迹控制方式的分类方法在目前的数控机床之间很难给出明确的界限。

3. 按伺服系统的控制方式分类

数控机床按照被控制量有无检测反馈装置可以分为开环和闭环两种。在闭环系统中，根据测量装置安放的位置又可将其分为全闭环和半闭环两种。在开环系统的基础上，还发展了一种开环补偿型数控系统。

(1) 开环控制数控机床

在开环控制中，机床没有检测反馈装置，如图 1-6 所示。

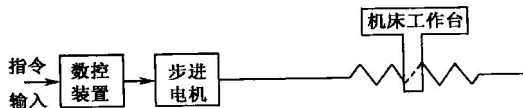


图 1-6 开环控制系统框图

数控装置发出信号的流程是单向的，所以不存在系统稳定性问题。也正是由于信号的单向流程，它对机床移动部件的实际位置不作检验，所以机床加工精度不高，其精度主要取决于伺服系统的性能。开环控制系统的工作过程是：输入的数据经过数控装置运算分配出指令脉冲，通过伺服机构（伺服元件常为步进电机）使被控工作台移动。

这种机床工作比较稳定、反应迅速、调试方便、维修简单，但其控制精度受到限制。它适用于一般要求的中、小型数控机床。

(2) 闭环控制数控机床

由于开环控制精度达不到精密机床和大型机床的要求，所以必须检测它的实际工作位置，为此，在开环控制数控机床上增加检测反馈装置，在加工中时刻检测机床移动部件的位置，使之和数控装置所要求的位置相符合，以期达到较高的加工精度。

闭环控制系统框图如图 1-7 所示。图中 A 为速度测量元件，C 为位置测量元件。当指令值发送到位置比较电路时，若此时工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使伺服电机转动，通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路，通过 C 将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中与指令值进行比较，用比较的差值进行控制，直至差值消除时为止，最终实现工作台的精确定位。这类机床的特点是精度高、速度快，但是调试和维修比较复杂。其关键是系统的稳定性，所以在设计时必须对稳定性给予足够的重视。该类机床还可以通用，因而灵活性和适应性强，也便于批量生产。

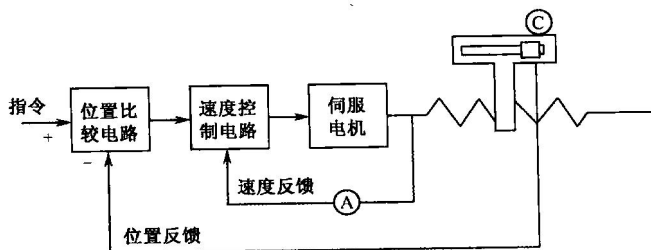


图 1-7 闭环控制系统框图

(3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统框图如图 1-8 所示。这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查测量，而是通过与伺服电机有联系的测量元件，如测速发电机 A 和光电编码盘 B（或旋转变压器）等间接检测出伺服电机的转角，推算出工作台的实际位移量，再将此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。从图 1-8 可以看出，由于工作台没有完全包括在控制回路内，因而称为半闭环控制。这种控制方式介于开环与闭环之间，精度没有闭环高，调试却比闭环方便。

(4) 开环补偿型数控机床

将上述三种控制方式的特点有选择地集中起来，可以组成混合控制的方案。这在大型数控机床中是人们多年研究的题目，现在已成为现实。因为大型数控机床需要高得多的进给速度和返回速度，又需要相当高的精度，如果只采用全闭环的控制，机床传动链和工作台全