



# FANUC

## 数控加工手册

陈为国 陈昊 胡育辉 编著

辽宁科学技术出版社

·沈阳·

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

FANUC数控加工手册 / 陈为国, 陈昊, 胡育辉编著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2015.3

ISBN 978-7-5381-9093-9

I. ①F… II. ①陈… ②陈… ③胡… III. ①数控机床—加工—技术手册 IV. ①TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 025285 号

---

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 50.25

字数: 1000千字

出版时间: 2015年3月第1版

印刷时间: 2015年3月第1次印刷

责任编辑: 高鹏

封面设计: 杜江

版式设计: 于浪

责任校对: 李淑敏 张丽萍

---

书号: ISBN 978-7-5381-9093-9

定价: 138.00元

投稿热线: 024-23284373

邮购热线: 024-23284502

E-mail: lnkj1107@126.com

http://www.lnkj.com.cn

本社法律顾问: 陈光律师

咨询电话: 13940289230

# 总目录

第一篇/1……491

FANUC Oi数控铣削加工编程与操作

陈为国 陈昊 编著

第二篇/1……290

FANUC数控铣床加工中心

胡育辉 编著

# 目 录

第 1 章	FANUC Oi 数控系统简介	1
1.1	FANUC 数控系统产品及其应用	1
1.2	FANUC Oi 数控系统的特点	1
1.3	FANUC Oi Mate-MC 数控系统技术性能	2
第 2 章	数控铣床编程基础及 FANUC Oi 系统基本指令	4
2.1	数控铣床的组成及其工作原理	4
2.1.1	数控技术简介	4
2.1.2	数控机床的组成	4
2.1.3	数控机床的工作原理	5
2.1.4	数控铣床的分类、布局形式和结构组成	6
2.1.5	数控铣床的主轴结构及刀具装夹方式	11
2.2	编程基础	17
2.2.1	数控加工编程的定义和方法	17
2.2.2	数控加工的程序结构和格式	19
2.3	数控铣床的坐标系及坐标方向	25
2.3.1	标准坐标系	25
2.3.2	坐标轴及方向	26
2.3.3	电气坐标系	27
2.3.4	机床坐标系 (MCS) (含机床原点及参考点)	27
2.3.5	工件坐标系 (WCS) (含编程坐标系与加工坐标系)	29
2.3.6	起刀点和换刀点	30
第 3 章	数控铣削基本编程指令	31
3.1	坐标系指令	31
3.1.1	机床坐标系指令 (G53)	31
3.1.2	工件坐标系设定指令 (G92)	32
	例 3-1	33
	例 3-2	33
3.1.3	工件坐标系选择指令 (G54 ~ G59)	33
	例 3-3	34
	例 3-4	34
3.1.4	工件坐标系自动设定	35
3.1.5	改变工件坐标系	35
	例 3-5	38
3.1.6	局部坐标系 (G52)	38
3.1.7	坐标平面选择指令 (G17/G18/G19)	39

3.2 坐标值与尺寸 .....	40
3.2.1 绝对值 / 增量值编程指令 (G90/G91) .....	40
例 3-6 .....	40
3.2.2 极坐标指令 (G16/G15) .....	40
例 3-7 .....	42
3.2.3 英制 / 公制转换指令 (G20/G21) .....	43
3.2.4 尺寸数值的小数点编程 .....	45
3.3 插补功能指令 .....	46
3.3.1 快速定位指令 (G00) .....	46
例 3-8 .....	47
3.3.2 单向定位指令 (G60) .....	47
例 3-9 .....	48
3.3.3 直线插补指令 (G01) .....	48
例 3-10 .....	49
例 3-11 .....	50
例 3-12 .....	50
3.3.4 圆弧插补指令 (G02/G03) .....	51
例 3-13 .....	53
例 3-14 .....	56
例 3-15 .....	57
例 3-16 .....	58
例 3-17 .....	59
3.3.5 螺旋插补指令 (G02/G03) .....	60
例 3-18 .....	60
例 3-19 .....	62
例 3-20 .....	63
3.3.6 螺纹切削指令 (G33) .....	63
3.4 进给功能 .....	65
3.4.1 概述 .....	65
3.4.2 快速移动 .....	65
3.4.3 切削进给速度指令 (G94/G95/FN) 及最大进给速度的钳制 .....	66
3.4.4 进给速度控制指令 (G09/G61/G64/G63/G62) .....	69
3.4.5 暂停指令 (G04) .....	73
3.5 主轴速度功能指令 .....	74
3.5.1 主轴速度的手动调节 .....	74
3.5.2 主轴速度的代码指定 .....	74
3.5.3 主轴速度直接指定 .....	74
3.6 辅助功能 (M 指令) .....	75
3.6.1 概述 .....	75

3.6.2	常用辅助功能 .....	76
3.7	参考点指令 .....	78
3.7.1	参考点的概念 .....	78
3.7.2	自动返回参考点指令 (G28) .....	79
3.7.3	返回第 2、第 3、第 4 参考点指令 (G30) .....	80
3.7.4	返回参考点检查指令 (G27) .....	80
3.7.5	从参考点返回指令 (G29) .....	81
3.8	刀具补偿功能指令 .....	81
3.8.1	刀具半径补偿指令 (G41/G42/G40) .....	81
	例 3-21 .....	87
	例 3-22 .....	88
	例 3-23 .....	89
	例 3-24 .....	90
3.8.2	刀具长度偏置指令 (G43/G44/G49) .....	93
	例 3-25 .....	98
3.8.3	刀具偏置指令 (G45~G48) .....	99
	例 3-26 .....	102
3.8.4	刀具半径补偿的详细说明 .....	103
3.8.5	刀具长度补偿的应用分析 .....	131
	例 3-27 .....	138
	例 3-28 .....	138
3.8.6	刀具补偿值的程序输入 (G10) 和 MDI 输入 .....	139
	例 3-29 .....	141
3.9	程序结构 .....	145
3.9.1	程序结构与组成分析 .....	146
3.9.2	跳过任选程序段 .....	148
	例 3-30 .....	149
3.9.3	主程序与子程序 (M98/M99) .....	150
	例 3-31 .....	151
<b>第 4 章</b>	<b>FANUC Oi 系统数控铣床的基本操作 .....</b>	<b>155</b>
4.1	数控铣床操作面板 .....	155
4.1.1	数控铣床操作面板的组成 .....	155
4.1.2	数控系统显示与 MDI 面板 .....	156
4.1.3	机床操作面板 .....	161
4.1.4	数控铣床的开/关机操作 .....	167
4.1.5	数控铣床操作过程 .....	169
4.2	数控铣床的手动操作 .....	169
4.2.1	手动返回参考点 .....	170
4.2.2	手动连续进给 .....	171

05	4.2.3 增量进给 .....	173
83	4.2.4 手轮进给 .....	173
85	4.2.5 手动控制主轴启动与停止 .....	174
95	4.2.6 急停操作与超程处理 .....	175
98	4.3 机床的自动运行 .....	176
03	4.3.1 存储器运行 .....	176
12	4.3.2 MDI 运行 (手动输入运行) .....	178
18	4.3.3 DNC 运行 (在线加工) .....	180
18	4.3.4 利用存储卡进行 DNC (在线加工) 操作 .....	185
38	4.3.5 手轮中断 .....	186
88	4.4 程序试运行 .....	187
95	4.4.1 机床锁住试运行 .....	187
99	4.4.2 进给速度倍率和快速移动倍率 .....	188
99	4.4.3 机床空运行 .....	190
89	4.4.4 程序的单段运行 .....	191
99	4.5 程序的管理与编辑 .....	191
99	4.5.1 程序的检索与调用 .....	192
101	4.5.2 程序的创建与删除 (含程序的传输) .....	193
111	例 4-1 .....	197
89	4.5.3 程序的编辑 .....	200
89	例 4-2 .....	212
99	4.6 数据的显示与设定 .....	212
141	4.6.1 功能键 <b>POS</b> 的显示与设定 .....	212
211	例 4-3 .....	215
341	4.6.2 功能键 <b>PROG</b> 的显示 .....	216
341	4.6.3 功能键 <b>OFS/SET</b> 的显示与设定 .....	220
041	例 4-4 .....	226
021	4.6.4 功能键 <b>SYSTEM</b> 的显示与设置 .....	227
121	4.6.5 功能键 <b>MSG</b> 的显示 .....	229
221	4.7 图形模拟功能 .....	231
第 5 章	固定循环等其他指令 .....	234
221	5.1 固定循环指令概述 .....	234
201	5.1.1 FANUC Oi 系统固定循环指令组 .....	234
141	5.1.2 固定循环指令的书写格式与基本动作 .....	235
501	例 5-1 .....	239
901	5.1.3 钻孔加工固定循环指令 (G81/G83/G73) .....	240
031	例 5-2 .....	242
091	例 5-3 .....	248
151	5.1.4 铰孔加工固定循环指令 (G82) .....	253



例 5-4 .....	254
5.1.5 镗孔加工固定循环指令 (G85/G86/G88/G89/G76/G87) .....	256
例 5-5 .....	264
例 5-6 .....	267
例 5-7 .....	268
5.1.6 攻丝加工固定循环指令 (G84/G74) .....	270
例 5-8 .....	273
5.1.7 固定循环取消指令 (G80) .....	274
例 5-9 .....	274
5.1.8 使用孔加工固定循环指令的注意事项 .....	279
例 5-10 .....	280
5.2 任意角度倒角 / 拐角圆弧 .....	283
5.2.1 倒角过渡 .....	283
5.2.2 拐角圆弧过渡 .....	284
5.2.3 任意角度倒角 / 拐角圆弧应用举例 .....	285
例 5-11 .....	285
5.3 比例缩放指令 (G50/G51) .....	286
5.3.1 各轴等比例缩放 .....	287
例 5-12 .....	288
5.3.2 各轴不等比例缩放 .....	289
5.3.3 比例缩放指令镜像加工 .....	291
例 5-13 .....	292
5.3.4 比例缩放应用举例 .....	293
例 5-14 .....	293
5.4 坐标系旋转指令 (G68/G69) .....	294
5.4.1 坐标系旋转指令格式 .....	295
例 5-15 .....	297
5.4.2 坐标系旋转与其他功能的关系 .....	298
例 5-16 .....	300
5.4.3 坐标系旋转应用举例 .....	301
例 5-17 .....	301
5.5 可编程镜像指令 (G50.1, G51.1) .....	303
例 5-18 .....	304
<b>第 6 章 数控铣削编程方法与计算机辅助编程简介 .....</b>	<b>306</b>
6.1 数控铣削的编程方法——手工编程与计算机辅助编程简介 .....	306
6.2 手工编程及程序的一般格式 .....	307
6.3 计算机辅助编程 .....	310
6.3.1 计算机辅助编程概述 .....	310
6.3.2 计算机辅助编程的一般流程 .....	311

6.3.3	计算机辅助编程的程序结果分析与处理 .....	319
6.4	MastercamX3 软件计算机辅助编程 .....	321
6.4.1	MastercamX3 软件构成与绘图基础 .....	321
例 6-1	.....	336
例 6-2	.....	348
例 6-3	.....	356
6.4.2	MastercamX3 的二维铣削加工与编程 .....	358
6.4.3	MastercamX3 的三维铣削加工与编程 .....	366
6.4.4	其他铣削加工 .....	377
6.4.5	MastercamX3 辅助编程举例 .....	382
例 6-4	.....	382
例 6-5	.....	383
<b>第七章</b>	<b>数控铣削加工工艺及典型案例分析 .....</b>	<b>385</b>
7.1	数控铣削编程前期规划 .....	385
7.1.1	零件的工艺性分析 .....	385
7.1.2	安装方案 .....	386
7.1.3	铣削方式分析 .....	391
7.1.4	数控铣削刀具的种类及几何特征描述 .....	394
7.1.5	切削用量的选择 .....	397
7.1.6	工件坐标系的建立及相关特殊位置点和面 .....	401
7.1.7	加工工艺路线与典型零件特征走刀路径分析 .....	403
7.2	手工编程案例分析 .....	405
例 7-1	.....	405
例 7-2	.....	411
7.3	工件坐标系建立及案例分析 .....	421
7.3.1	工件坐标系及其建立方法 .....	421
7.3.2	G54~G59 指令建立工件坐标系 .....	421
7.3.3	G92 指令建立工件坐标系 .....	425
7.4	刀具半径补偿和长度偏置及案例分析 .....	429
7.4.1	刀具半径补偿及刀具偏置(补偿)简单回顾 .....	429
7.4.2	刀具半径补偿应用案例分析 .....	429
例 7-3	.....	429
7.4.3	刀具长度偏置设置案例分析 .....	437
例 7-4	.....	437
7.5	平面铣削加工程序案例分析 .....	439
7.5.1	平面铣削注意事项 .....	439
7.5.2	平面铣削工艺分析 .....	440
例 7-5	.....	440
7.5.3	平面铣削案例 .....	444

---

例 7-6 .....	444
7.6 二维铣削加工案例 .....	445
例 7-7 .....	445
7.7 孔及孔系加工案例分析 .....	452
7.7.1 定尺寸孔加工刀具固定循环加工孔或孔系 .....	452
例 7-8 .....	453
7.7.2 孔的铣削加工 .....	458
例 7-9 .....	458
7.8 Mastercam 软件辅助编程案例分析 .....	466
7.8.1 Mastercam 软件编程特点分析 .....	466
7.8.2 Mastercam 软件编程案例分析 .....	467
例 7-10 .....	467
例 7-11 .....	480
参考文献 .....	491

# 第1章 FANUC 0i 数控系统简介

## 1.1 FANUC 数控系统产品及其应用

FANUC 公司创建于 1956 年, 其研制的 FANUC (通常其中文译名为发那科) 数控系统是世界著名的数控系统之一, 市场占有率一直较高。FANUC 数控系统进入中国市场已经有 20 多年的历史, 是中国市场上应用较为广泛的数控系统之一。目前使用较为广泛的产品有 FANUC 0、FANUC 16、FANUC 18、FANUC 21 等。在这些型号中, 使用最为广泛的是 1985 年推出的 FANUC 0 系列产品, 后又不断改进, 2000 年推出了 FANUC 0i 系列, 该系统提供了丰富而先进的功能, 特别适用于加工中心、数控铣床和数控车床。具有可靠性好、体积小、功能强, 性价比高等特点。

## 1.2 FANUC 0i 数控系统的特点

FANUC 0i 数控系统具有以下特点。

(1) 采用模块化结构设计。

(2) 整体软件功能包。为车床、铣床和加工中心等提供各种用途丰富的 CNC 功能, 作为整体标准的功能软件包。

(3) LCD 液晶显示器, 可以是单色也可以是彩色的。

(4) 高性能的交流伺服电动机和放大器。有高性能的  $\alpha$ i 系列、 $\alpha$  系列、 $\alpha$ C 系列、 $\beta$  系列伺服电机, 高性能的  $\alpha$ i 系列、 $\alpha$  系列、 $\alpha$ P 系列、 $\alpha$ C 系列主轴电动机, 以及高性能的  $\alpha$  系列伺服放大器。

(5) 丰富的先进功能。

①高速高精度控制功能。

②零件程序多段预读控制, 实现切削速度的最佳加速度和减速度。

③伺服采用 HRV 控制, 提高系统的鲁棒性和实现高增益的速度控制。

④大大降低位置指令的延时, 缩短定位时间。

⑤高性能的 PMC 功能: 采用 PMC-SA3, 梯形图程序运行时间为  $0.15\mu\text{s}/\text{步}$ , 最大容量为 16000 步, 并且可在显示器上显示和编辑梯形图。

⑥与 PC 机通信: CNC 通过无噪声 HSSB 高速串行总线 (光缆) 与商用 PC 机连接, PC 机可显示各种 CNC 数据, 也可运行高速 DNC 功能。

⑦Power Mate CNC 管理: 除 CNC 控制轴外, 通过 I/O link 最多可控制 8 台  $\beta$  系列伺服电动机, 并可在 CNC 上进行设定和显示, 还可用 PMC 方便地控制电动机的运动。

(6) 强力个性化功能。

①利用用户宏程序 / 宏程序执行器, 机床厂家可以进行个性化的作业, 比如编制适合于机床专用加工和测量的循环程序。

② 用户还可以利用宏程序编制自己的 CNC 显示程序。

③ 操作面板的键顶端可拆移，用户可以重新刻上符号，安排布置自己的操作面板。

④ I/O link 的接口可以减少机床操作面板的连线。

(7) 丰富的维修功能。

① 报警历史记录 / 操作历史记录：报警信息自动地存到 CNC 存储器内，并且可以显示，也可自动记录所有的操作。这两项功能可方便地检查故障。

② 伺服波形显示：各种伺服数据，如位置误差、指令脉冲、转矩指令以波形显示在 CNC 的显示屏上，不用示波器就可方便地检查伺服故障。

③ 采用存储卡进行信息交换：系统具有 PCMCIA 存储卡接口，CNC 系统的数据如参数、零件加工程序、偏置数据、PMC 的程序和宏程序执行器的程序等可以通过简单的操作存储到 PCMCIA 接口转接的 CF 卡 (CompactFlash 卡) 上，也可重装回到 CNC 系统。

(8) 高可靠性和世界性支持。

高可靠性：在 CNC 系统设计阶段考虑到 CNC 机床的运行环境，在制造阶段进行严格的测试和质量控制。

世界性支持：通过世界各地的 FANUC 子公司对系统进行高质量和快速反应的服务。

### 1.3 FANUC 0i Mate-MC 数控系统技术性能

说明书中的主要功能：

① 公 / 英制转换。

② 输入代码 ELA/ISO 并能自动识别。

③ X、Y、Z 轴三轴联动。FANUC 0i Mate-MC 数控系统同时控制轴数为三轴，可增至四轴。FANUC 0i MC 数控系统同时控制轴数为四轴。

④ 8.4" 彩色 LCD 显示器及标准 MDI 操作面板。

⑤ 机床所有进给轴锁住功能。

⑥ 超程控制、紧急停止功能。

⑦ 插补功能强大，有直线插补、圆弧插补、极坐标插补、圆柱插补、螺旋插补、进给暂停、定位及单向定位，准停方式、螺纹镗削等。

⑧ 丰富的孔加工固定循环功能。

⑨ 选择程序段跳过功能。

⑩ 小数点输入 / 计算器小数点输入。

⑪ 绝对坐标 / 增量坐标输入。

⑫ 可编程数据输入和可编程参数输入。

⑬ 子程序调用功能，子程序调用达 4 层嵌套。

⑭ 面向用户开放的功能，用户可以用用户宏程序功能来实现。

⑮ 比例缩放，镜像、坐标旋转及可编程镜像功能。

⑯ 工件坐标系设定 (G92)、工件坐标系选择 (G54 ~ G59)、局部坐标系设定 (G52) 和工件坐标系预置等功能。

⑰ 存储器自动运行、MDI 运行、DNC 运行 (外部计算机通过 RS232 通讯或 CF 存储

卡)。

⑱顺序号和程序号的检索、顺序号比较与停止。

⑲手轮中断和恢复、程序再启动。

⑳机床锁住运行、空运行、单程序段运行。

㉑手动连续进给、手轮增量进给。

㉒手动返回参考点、自动返回参考点和返回参考点检测功能。

㉓倍率修调：快速进给速度倍率、切削进给速度倍率、手动进给速度倍率、主轴转速倍率。

㉔自动加速/减速，快速进给为直线型，切削进给为指数型或直线型。

㉕数控程序的键盘输入、RS232 通讯输入和 CF 卡传输输入。

㉖刀具半径补偿和刀具长度补偿功能，几何补偿与磨损补偿分别设置，偏置（补偿）存储器容量达 400 个。

㉗通信功能，支持外部 RS232 口和 PCMCIA 存储卡存贮，可进行程序传输和 DNC 加工，可备份机床数据。

㉘256KB 零件程序存储器空间。

㉙故障诊断和报警信息存储功能。

㉚具有刀具寿命管理功能。

## 第 2 章 数控铣床编程基础及 FANUC 0i 系统基本指令

### 2.1 数控铣床的组成及其工作原理

#### 2.1.1 数控技术简介

1952 年,在美国(美国麻省理工学院)诞生了世界上第一台数控机床,成为世界机械工业史上一件划时代的事件,推动了自动化的发展,使传统的机床产生了质的变化。数控技术的发展与计算机技术的发展有着密切的联系,已从 NC 时代过渡到 CNC 时代。

数控技术,简称数控(NC——Numerical Control),是以数字量编程实现控制设备自动工作的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。早期的计算机由于运算速度低,不能适应机床实时控制的要求,那时的数控系统不得不采用数字逻辑电路“搭”接数控机床的控制系统,这种数控系统被称为硬件联结的数控系统,也就是简称为 NC 的数控系统。NC 的数控系统可细分为电子管、晶体管和小规模集成电路三个阶段。

随着时代的发展,20 世纪 70 年代以后,计算机技术和微处理器的发展和普及,为现代的计算机数控技术的出现和发展奠定了基础。由于小型计算机技术和微处理器的功能强大,控制能力极强,人们考虑用计算机软件控制部分或全部代替 NC 时代的硬件逻辑电路,基于这种思想和技术的数控技术就称为计算机数控技术(CNC——Computer Numerical Control)。CNC 数控系统的初期,使用计算机软件程序控制部分地取代 NC 时代的硬件逻辑电路。随着微处理器功能的不断强大,开始出现了专用的 CNC 数控系统,这种数控系统是以功能强大的微处理器(Microprocessor),也称为中央处理单元(CPU)为基础构建的专用数控系统,其实质是一台专用的小型计算机。这种结构的数控系统现在在实际中应用广泛。近年来,CNC 系统朝着基于 PC 机方向发展,这种数控系统具有开放性、低成本、高可靠性、软硬件资源丰富等特点,是未来数控系统的发展趋势。

当前的数控技术的发展趋势是:高速、高效、高精度、高可靠性、模块化、智能化、柔性化和集成化等。

#### 2.1.2 数控机床的组成

数控机床是指采用数控技术进行控制的机床,也被称为数字控制机床(Numerically Controlled Machine Tool)、NC 机床或 CNC 机床。数控机床包括数控系统与机床本体两大部分,其组成框图如图 2-1 所示。

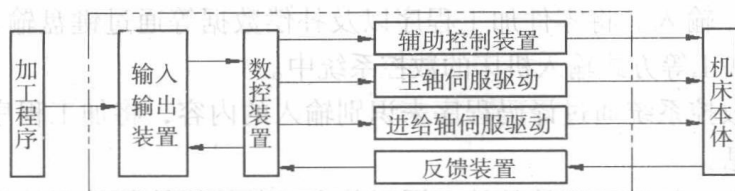


图 2-1 数控机床的组成

数控系统主要由数控装置（包括内置的 PLC）、进给伺服系统、主轴伺服系统等部分组成。进给系统包括进给驱动单元、进给电动机和位置检测装置组成。主轴伺服系统包括主轴驱动单元、主轴电动机和主轴准停装置等组成。

数控装置中的 PLC 主要用于开关量的控制，用于控制主轴的正转、反转和停止，冷却液的开与关，主轴转速高、低挡的切换等辅助动作。

数控装置是数控机床的核心，它的功能是接受输入装置输入的加工信息，经过系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，发出相应的脉冲送给伺服系统，通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。数控装置还可以进行参数设置、程序的输出、相关参数和数据的输入和输出等。

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，它包括进给伺服系统和主轴伺服系统。

进给伺服系统是数控系统的执行部分。由机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统，它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移量。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统，根据控制方式的不同，伺服系统可分为开环、半闭环和全闭环伺服系统。

主轴伺服系统主要控制机床的主轴转速，目前广泛采用矢量控制变频调速的方法。

数控机床本体主要包括：主运动部件，进给运动执行部件、床身、立柱等支撑部件，此外还有冷却、润滑、液压系统与刀具装卸装置等。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库，更换刀具的机械手等部件。数控机床的本体和机械部件的结构设计方法基本同普通机床类似，只是在精度、刚度、抗震性等方面要求更高，尤其是要求相对运动表面的摩擦系数要小，传动部件之间的间隙要小，而且传动和变速系统要便于实现自动控制。

### 2.1.3 数控机床的工作原理

数控机床通过对数控程序的读入与处理，然后驱动主轴旋转、进给轴移动以及冷却液的开关等动作，对零件进行预定的加工。数控机床加工的工作流程可用图 2-2 表示。

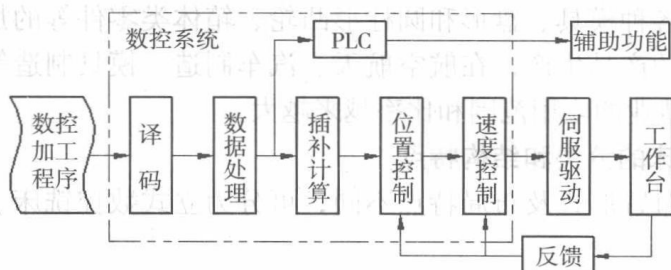


图 2-2 数控机床的工作原理



(1) 加工程序输入。将零件加工程序以及补偿数据等通过键盘输入、存储卡输入、通讯传输和在线加工等方式输入机床的数控系统中。

(2) 译码。数控系统通过译码程序来识别输入的内容，将加工程序翻译成计算机内部能够识别的信息。

(3) 数据处理。数据处理就是处理译码信息，数控系统的数据处理部分一般设置有若干缓冲区，每读入一个程序段，并对其进行译码处理，将译码处理的数据存入一个缓冲区，同时继续读入下一个程序段，以此类推。译码数据处理包括刀补处理、速度预处理、控制机床顺序逻辑动作的开关量信号等。

(4) PLC 控制。接收数据处理后控制机床顺序逻辑动作开关量信号部分信息，并用于控制各种辅助控制功能（M 功能）、主轴速度控制（S 功能）、选刀功能（T 功能，主要用于数控加工中心和数控车床等）等。

(5) 插补计算。接收数据处理后控制机床切削运动的信息，并进行插补处理。插补处理就是依据插补原理，在给定的走刀轨迹类型（如直线、圆弧）及其特征参数，如直线的起点和终点、圆弧的起点、终点及半径，在起点和终点之间进行数据点的密化处理，并给相应坐标轴的伺服系统进行脉冲分配。密化处理的实质就是采用一小段直线或圆弧去对实际的轮廓曲线进行拟合，以满足加工精度的要求。

(6) 位置控制。对于闭环或半闭环控制系统，需要通过位置控制处理程序来计算理论指令坐标位置与工作台实际坐标位置的偏差，通过偏差信号来对伺服驱动系统进行控制。

(7) 速度控制。同位置控制，对于闭环或半闭环控制系统，需要通过速度控制来控制工作台实际的移动速度。

(8) 伺服驱动。伺服驱动是由伺服驱动电机和伺服驱动装置组成，它能对数控系统输出的位置和控制信号进行放大处理，并驱动工作台运动，它是数控机床的执行部分。

(9) 反馈装置。是闭环或半闭环控制所必需的一部分装置，它能将数控机床工作台的实际位置和移动速度反馈给数控系统，对工作台的位置误差和移动速度的误差进行修整，实现高精度的控制。

## 2.1.4 数控铣床的分类、布局形式和结构组成

数控铣床是出现和使用最早的数控机床，世界上出现的第一台数控机床便是数控铣床。

与普通铣床相比，数控铣床具有加工精度高、生产效率高、精度稳定性好、操作劳动强度低、用途广泛等特点。特别是在其基础上发展起来的数控加工中心，其生产效率得到了进一步的提高。能够完成各种平面、沟槽、螺旋槽、复杂型面，各种类型的孔等的加工，广泛用于各种模具、盘形和圆柱形凸轮、箱体类零件等的加工。特别适用于产量不大、变化较多的产品生产，在航空航天、汽车制造、模具制造等机械制造行业应用广泛，其在机械制造业的应用范围和比率越来越大。

### 2.1.4.1 数控铣床的分类和结构特点

(1) 按主轴的布置形式及布局特点不同，可分为立式数控铣床、卧式数控铣床和龙门式数控铣床。

① 立式数控铣床。立式数控铣床的主轴垂直安装，一般与机床的工作台面垂直，按