

FANUC-0iD

编程与操作



龚仲华 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

FANUC-0iD 编程与操作

龚仲华 编著



机械工业出版社

本书包括了 FANUC-0iD 数控系统编程与操作的全部内容。编程部分对 FS-0iD 的通用编程、FS-0iTD 车削编程、FS-0iMD 铣削编程及用户宏程序编程、对话编程和引导编程进行了详尽介绍；操作部分对 FS-0iD 的基本操作、调试操作、维修操作进行了全面阐述。

本书涵盖了 FANUC-0iD 通用操作、FANUC-0iTD 操作、FANUC-0iMD 操作、FANUC-0iD 维修等多种手册的所有编程、操作知识。全书选材典型先进，内容全面系统，理论联系实际，面向工程应用，是从事数控机床操作、调试、维修人员和高等学校师生的优秀参考书。

图书在版编目（CIP）数据

FANUC-0iD 编程与操作/龚仲华编著. —北京：机械工业出版社，2013.4

ISBN 978-7-111-41794-1

I. ①F… II. ①龚… III. ①数控机床-程序设计②数控机床-操作
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 048855 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：徐明煜 责任编辑：徐明煜 吕 潇 版式设计：霍永明

责任校对：纪 敬 封面设计：赵颖喆 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·24.5 印张·605 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-41794-1

定价：68.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

FANUC 公司是全球最著名的 CNC (Computer Numerical Control, 即计算机数字控制机床, 简称数控机床) 生产厂家之一, 技术领先世界, 产品市场占有率高。FS-0iD 系列 CNC 是该公司的主导产品之一, 产品性价比高、可靠性好, 是当前国内外数控设备中应用最广泛的系统之一。

FS-0iD 的技术手册多达数十种, 资料丰富、内容全面, 但由于手册众多、部分内容相互穿插, 少量译文不够贴切, 给使用者带来了一些不便。为此, 编著者对其进行了系统梳理、综合整编、去芜存菁, 并根据数控机床编程操作人员和调试维修人员的不同需要, 将其归并为《FANUC-0iD 编程与操作》、《FANUC-0iD 调试与维修》和《FANUC-0iD 选型与设计》三册, 以方便读者使用。

本书是针对数控机床操作、编程人员编写的编程与操作手册, 第 1 章简要介绍了数控机床、数控原理和 FS-0iD 功能, 第 2~9 章系统阐述了 FS-0iD 编程和操作两大部分内容。

第 2~6 章为编程部分, 对 FS-0iD 的通用编程、FS-0iTD 车削编程、FS-0iMD 铣削编程以及用户宏程序编程、对话编程和引导编程进行了系统说明, 内容涵盖了 FANUC-0iD 通用操作手册、FANUC-0iTD 操作手册、FANUC-0iMD 操作手册的全部编程知识。编程指令说明详尽、应用实例丰富, 并提供了车削加工、铣削加工程序的标准格式, 希望能为读者编制 CNC 加工程序提供帮助。

第 7~10 章为操作部分。对 FS-0iD 的基本操作、调试操作、维修操作进行了全面介绍, 它不仅包括了 FANUC-0iD 通用操作手册、FANUC-0iTD 操作手册、FANUC-0iMD 操作手册的一般操作知识, 而且还补充了 FANUC-0iD 维修手册、FANUC-0iD 功能手册所涉及的 CNC 维修操作、PMC 操作、以太网输入/输出、引导系统操作等 CNC 调试和维修操作。操作方法介绍全面、操作步骤清晰准确, 希望能为读者更好地使用数控机床提供帮助。

本书的编写以推广应用新产品、新技术为目的, FANUC 使用手册无疑是产品使用的技术指南, 但由于使用习惯、文字翻译、资料来源等原因, 使读者在使用时可能存在一定的不便, 从这一意义上说, 本书也是对 FS-0iD 技术资料的综合整理和重新编排, 因此, 不可避免地需要较多地引用 FANUC 技术资料, 书后不再一一列出。编写也得到了 FANUC 公司技术人员的大力支持与帮助, 在此表示衷心的感谢。

由于全书所涉及的技术资料众多, 编写工作量较大, 书中的缺点错误在所难免, 真诚期望得到广大读者与同行专家的帮助指正。

编著者
2013 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 数控机床与系统	1
1.1 数控机床	1
1.1.1 机床与数控	1
1.1.2 车削类数控机床	4
1.1.3 镗铣类数控机床	9
1.1.4 数控机床的基本特点	13
1.2 数控原理与系统	14
1.2.1 数控系统的组成	14
1.2.2 数控加工原理	16
1.2.3 普及型与全功能型 CNC	18
1.2.4 伺服驱动系统的结构	20
1.2.5 通用伺服和专用伺服	22
1.3 FS-0iD 功能说明	24
1.3.1 FANUC 产品简介	24
1.3.2 FS-0i 系列 CNC	27
1.3.3 FS-0iD 主要功能	29
第 2 章 FS-0iD 编程基础	33
2.1 程序的基本概念	33
2.1.1 程序的组成	33
2.1.2 子程序编程	36
2.2 坐标系的建立与选择	38
2.2.1 机床坐标系与参考点	38
2.2.2 G27 ~ G30 指令与编程	40
2.2.3 工件坐标系的建立与选择	41
2.3 编程单位及选择	44
2.3.1 位置单位与绝对/增量编程	44
2.3.2 速度单位及选择	45
2.4 基本移动指令的编程	46
2.4.1 G00/G01/G04 指令与编程	46
2.4.2 G02/G03 与平面选择指令编程	49
2.5 加工辅助指令与编程	53
2.5.1 G22/G23 禁区保护指令	53
2.5.2 CNC 参数输入指令	55
2.5.3 刀具测量与位置偏置指令	57
第 3 章 FS-0iTD 编程	59
3.1 车削加工指令与编程	59

3.1.1 程序特点与代码体系	59
3.1.2 常规车削编程	63
3.1.3 圆柱面插补与极坐标插补	66
3.2 普通车削固定循环	69
3.2.1 G90/G92/G94 简单固定循环	69
3.2.2 G70 ~ G73 复合车削循环	72
3.2.3 G74 ~ G76 车削循环	77
3.3 车削中心孔加工固定循环	80
3.3.1 基本说明	80
3.3.2 G83/G87 钻孔循环	82
3.3.3 G84/G85/G88/G89 攻螺纹与镗孔循环	83
3.4 自动倒角与蓝图编程	85
3.4.1 自动倒角	85
3.4.2 蓝图编程	87
3.5 刀具偏置与半径补偿	90
3.5.1 刀具偏置	90
3.5.2 刀尖半径补偿	93
3.6 车削程序的基本格式	95
3.6.1 程序的基本格式	95
3.6.2 车削加工编程实例	96
第4章 FS-0iMD 编程	99
4.1 镗铣加工指令与编程	99
4.1.1 程序特点与代码体系	99
4.1.2 螺纹加工指令	102
4.1.3 准确定位和拐角减速指令	104
4.1.4 坐标变换指令	105
4.1.5 自动倒角	111
4.2 FS-0iMD 常用固定循环	112
4.2.1 固定循环概述	112
4.2.2 循环动作说明	116
4.2.3 固定循环的编程实例	120
4.3 小孔加工和刚性攻螺纹	122
4.3.1 小孔加工	122
4.3.2 刚性攻螺纹	124
4.4 FS-0iMD 的刀具补偿	126
4.4.1 刀具长度偏置	126
4.4.2 刀具半径补偿	128
4.5 镗铣加工程序的基本格式	130
第5章 用户宏程序编程	132
5.1 宏程序与变量	132
5.1.1 基本概念	132
5.1.2 系统变量表	135
5.1.3 系统变量说明	140

5.2 宏程序编程	142
5.2.1 宏程序指令	142
5.2.2 宏程序调用与返回	146
5.2.3 宏程序编程实例	148
5.3 宏程序的执行与中断	150
5.3.1 宏程序执行	150
5.3.2 宏程序中断	152
第6章 对话编程和引导编程	155
6.1 对话编程	155
6.1.1 对话编程和引导编程	155
6.1.2 对话编程操作	156
6.2 引导编程及操作	158
6.2.1 常规指令编程	158
6.2.2 引导循环编程	160
6.2.3 FS-0iTD 引导循环	161
6.2.4 FS-0iMD 引导循环	166
6.3 FS-0iD 的轮廓编程	172
6.3.1 轮廓编程的操作	172
6.3.2 轮廓参数的定义	174
6.3.3 相邻图形的轮廓计算	175
6.3.4 相邻三图形的轮廓计算	177
6.4 轮廓编程的辅助计算	179
6.4.1 辅助计算与操作	179
6.4.2 点的计算	180
6.4.3 直线和圆弧的计算	181
第7章 CNC 基本操作	183
7.1 操作与显示面板	183
7.1.1 CNC 操作方式	183
7.1.2 机床操作面板	185
7.1.3 MDI/LCD 单元	188
7.2 基本操作	192
7.2.1 手动操作	192
7.2.2 程序输入	195
7.2.3 自动运行	198
7.3 程序编辑	201
7.3.1 程序输入与修改	201
7.3.2 编辑使能和检索	204
7.3.3 程序删除、复制和整理	207
7.3.4 用户宏程序编辑	209
第8章 数据显示和设定	211
8.1 位置显示与设定	211
8.1.1 位置和速度显示	212

8.1.2 时间、计数和负载表显示	215
8.1.3 手轮中断与取消	217
8.2 程序显示与设定	219
8.2.1 基本显示	219
8.2.2 程序检查和对话编程	221
8.2.3 后台编辑和2通道编辑	225
8.2.4 程序重新启动	227
8.3 偏置/设定显示	231
8.3.1 设定参数显示与修改	232
8.3.2 工件坐标系和宏程序	235
8.3.3 软机床操作面板	239
8.3.4 语言、数据保护和精度等级	242
8.3.5 FS-0iTD 刀具补偿	245
8.3.6 FS-0iTD 卡盘和尾架保护	249
8.3.7 FS-0iMD 刀具补偿	252
8.3.8 刀具寿命管理	254
8.3.9 误操作保护设定	257
第9章 CNC 调试操作	261
9.1 系统显示与设定	261
9.1.1 基本说明	261
9.1.2 CNC 参数显示和设定	263
9.1.3 螺补参数显示和设定	265
9.1.4 伺服设定与调整	267
9.1.5 主轴设定与调整	270
9.1.6 显示器颜色和屏幕保护	274
9.1.7 加工参数调整	275
9.2 参数快捷设定与调整	277
9.2.1 基本操作	277
9.2.2 参数快捷设定	280
9.2.3 伺服增益调整	285
9.3 数据输入/输出操作	289
9.3.1 基本说明	289
9.3.2 存储卡操作	294
9.3.3 存储卡输入/输出	295
9.4 以太网通信	299
9.4.1 基本说明	299
9.4.2 FTP 通信设定	301
9.4.3 DNS/DHCP 设定	304
9.4.4 通信参数备份与通信操作	306
9.4.5 通信重启与检查、维护	309
9.5 引导系统操作	311
9.5.1 基本说明	311
9.5.2 数据的装载、校验与删除	312

9.5.3 系统数据的保存、备份	314
9.5.4 存储卡文件删除与格式化	315
第10章 CNC 维修操作	317
10.1 CNC 维修信息	317
10.1.1 定期维护信息	317
10.1.2 CNC 系统配置的显示	321
10.1.3 操作履历的显示	323
10.1.4 CNC 报警显示与诊断	327
10.2 PMC 显示与监控	332
10.2.1 基本说明	332
10.2.2 PMC 维修信息	335
10.2.3 程序参数显示与设定	338
10.3 信号跟踪和梯形图显示	344
10.3.1 信号跟踪显示	344
10.3.2 梯形图显示与监控	347
10.4 图形显示与设定	350
10.4.1 基本说明	350
10.4.2 图形显示	353
10.4.3 动态刀具轨迹显示	356
10.4.4 虚拟动画显示	361
附录 FS-0iD 报警一览表	365
1. 操作/编程错误报警一览表 (PS/BG/SR/SW 报警)	365
2. 误操作防止/超程/过热报警一览表 (IE/OT/OH 报警)	375
3. 参数设定/数据输入输出/其他报警一览表 (PW/IO/DS 报警)	376
4. 伺服报警一览表 (SV 报警)	378
5. 主轴报警一览表 (SP 报警)	380

第1章

数控机床与系统

1.1 数控机床

1.1.1 机床与数控

1. 机床

数控（Numerical Control, NC）技术的诞生源自于机床。机床是对金属或其他材料的坯料、工件进行加工，使之获得所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的机器，是机械制造业的主要加工设备。机床用来制造机器零件，它是制造机器的机器，故又称为工作母机。没有机床就不能制造机器，没有机器就不能生产工业产品，就谈不上发展经济，因此，机床是国民经济基础的基础。没有好的机床就制造不出好的机器，就生产不出好的产品，所以，机床的水平是衡量一个国家制造业水平和现代化程度、综合实力的重要标志。

由于加工方法、零件材料的不同，机床可分为金属切削机床、金属成型机床、木材加工机床、塑料成型机床等多种类型。金属成型机床是利用压力对坯料进行锻造、挤压、冲裁、剪切、弯曲等加工，使坯料获得所要求形状的机床，其生产效率极高，可用于大批量生产，但零件的尺寸精度和表面质量较难保证。木材加工机床、塑料成型机床多用于日常生活用品的生产，它同样具有高效、大批量生产的特点，但其零件的尺寸精度和表面质量一般低于金属切削机床。

金属切削机床是利用刀具或其他手段（如电加工、激光加工）去除坯料上的多余金属，从而得到具有一定形状、尺寸精度和表面质量工件的加工设备，它在工业企业中使用最广、数量最多，它是数控技术应用最为广泛的领域。按照我国最新的 GB/T 15375—2008 机床分类标准，利用刀具进行加工的钻镗铣类、车削类、磨削类、齿轮加工类、螺纹加工类、刨插拉锯加工类机床归属于金属切削机床；而利用其他手段加工的电加工类、激光加工类、超声波类、水切割类等归属于特种加工机床。

2. 机床的控制

数控最初是为解决金属切削机床控制问题而研发的一种技术。在金属切削机床上，为了能够完成零件的加工，机床的控制主要包括以下三方面内容。

（1）动作的顺序控制

机床对零件的加工需要一般需要有多个加工动作，加工动作的顺序有规定的要求，称为工序，复杂零件的加工可能需要几十道工序才能完成。因此，机床的加工过程，需要根据工

序的要求，按规定的顺序进行。

以图 1.1-1a 所示的简单攻螺纹机为例，为了完成攻螺纹动作，攻螺纹机需要按照图 1.1-1b 所示的丝锥向下接近工件→丝锥正转向下加工螺纹→丝锥反转退出→丝锥离开工件四步进行。

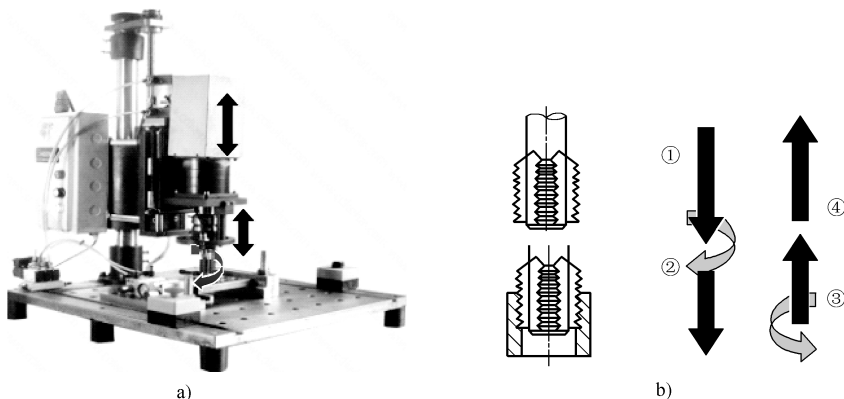


图 1.1-1 动作的顺序控制

a) 攻螺纹机 b) 动作顺序

机床的动作顺序控制只需要根据机床的动作顺序表，如电磁元件动作表等，按要求依次通断液压、气动、电机等执行元件便可，因此，它属于开关量控制的范畴，即使是利用传统的继电-接触器控制系统也能实现，而 PLC（Programmable Logic Controller，可编程序控制器）的出现，更是使之变得十分容易。

(2) 切削速度控制

在使用刀具进行加工的金属切削机床上，为了提高加工效率和得到要求的表面加工质量，应根据刀具和零件的材料、表面质量的要求，来确定刀具与工件的相对运动速度（切削速度），即使对于同样材质的刀具和零件，加工时也需要根据刀具的直径，改变其转速，以保证其切削速度的不变。

改变切削速度既可通过机械变速齿轮箱、带传动等方法实现，也可使用电气传动改变电机的转速实现，早期的直流调速和现代的交流调速都是机床的电气调速方案。

(3) 运动轨迹控制

为了使得零件的形状（轮廓）符合规定的要求，就必须控制刀具相对于工件的运动轨迹。例如，对于图 1.1-2 所示的叶轮加工，加工时必须同时控制刀具的上下（Z 轴）、叶轮的回转（C 轴）和叶轮中心线的摆动（A 轴），来保证刀具运动轨迹的准确，得到正确的轮廓和形状。

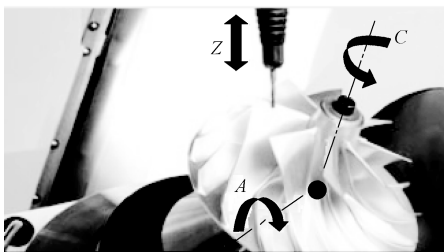


图 1.1-2 运动轨迹的控制

刀具运动轨迹控制不仅包括了刀具的位置、运动速度控制，而且还需要多个方向的运动合成才能实现，这样的控制只有通过计算机数字控制（Computer Numerical Control，CNC，简称数控）技术才能实现。

因此, 机床采用数控技术的根本目的是解决运动轨迹控制的问题, 使得机床能够任意改变刀具在平面或空间的移动轨迹, 从而将工件加工成所需要的轮廓形状, 这既是数控机床与其他机床的本质区别, 也是数控的起源。

3. 数控的概念

数控 (NC) 是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。数控技术的发展和电子技术的发展保持同步, 至今已经历了从电子管、晶体管、集成电路、计算机到微处理机的演变, 由于现代数控都采用计算机控制, 因此, 又称计算机数控 (CNC)。数字化信息控制必须有相应的硬件和软件, 这些硬件和软件的整体称为数控系统 (Numerical Control System)。数控系统的核心部件是数控装置 (Numerical Controller)。

根据使用场合的不同, 数控技术、数控系统、数控装置均可采用 NC 或 CNC 的英文缩写, 因此, 英文的 NC 和 CNC 一词具有三种不同含义: 在广义上代表一种控制方法和技术; 在狭义上代表一种控制系统的实体; 此外还可特指一种具体的控制装置——数控装置。

利用数控技术来解决金属切削机床的轮廓加工——刀具轨迹的自动控制问题的设想, 最初由美国 Parsons 公司在 20 世纪 40 年代末提出。1952 年, Parsons 公司和美国麻省理工学院 (Massachusetts Institute of Technology) 联合, 在一台 Cincinnati Hydrotel 立式铣床上安装了一套试验性的数控系统, 并成功地实现了三轴联动加工, 这是人们所公认的第一台数控机床。到了 1954 年, 美国 Bendix 公司在 Parsons 专利的基础上, 研制出了第一台工业用的数控机床, 随后, 数控机床取得了快速发展和迅速普及。

4. 数控机床

采用数控技术进行控制的机床称为数控机床, 简称 NC 机床。机床控制是数控技术应用最早、最广泛的领域, 数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向。数控机床是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品, 是现代制造技术的基础。在今天, 数控机床业已成为衡量一个国家制造技术水平和国家综合实力的重要标志, 人们将数控技术与 PLC 技术、工业机器人、CAD/CAM 技术并称为现代工业自动化的四大支持技术。

数控机床是一个广义上的概念, 所有机床都可采用数控技术进行控制, 即使是用于特定产品加工的专用机床和生产线, 为了增加其加工适应能力 (柔性), 也可采用数控。但是, 需要注意的是, 在使用 PLC 控制的机床上, 某些运动部件的位置虽然也使用了轴控模块、伺服驱动器进行控制, 但在通常情况下, 这样的控制只能针对某一运动轴的速度、位置所进行的独立控制, 它不能实现多个运动轴间的联动, 解决刀具运动轨迹的控制问题, 因此, 这种机床不能称为数控机床。

在一般工业企业中, 金属切削机床的钻镗铣类、车削类机床占绝大多数, 因此, 它是数控技术应用最为广泛的领域。

钻镗铣类机床通过刀具的旋转和空间运动实现切削, 与此类似的机床有齿轮加工类、螺纹加工类、工具磨削类等, 这样的机床至少需要有 $X/Y/Z$ 三个运动轴。根据机床的结构和功能, 钻镗铣类数控机床分为数控铣床、数控镗铣床、加工中心、铣车复合加工中心、FMC 等。

车削类机床以工件旋转作为切削主运动, 适合于回转体零件的加工, 与此类似的机床有内外圆磨削类等, 这样的机床需要有轴向 (Z) 和径向 (X) 两个基本运动轴。根据机床的

结构和功能，车削类数控机床分为数控车床、车削中心、车铣复合加工中心、车削 FMC 等。

为此，大多数 CNC 生产厂家习惯上将数控系统分为 M 系列和 T 系列两个系列产品，M 系列 CNC 至少具备三轴（X/Y/Z）控制功能，用于钻镗铣类机床控制，如 FANUC-0iM、SIEMENS-810M、KND100M 等；T 系列 CNC 至少具备两轴（X/Z）控制功能，用于车削类机床控制，如 FANUC-0iT、SIEMENS-810T、KND100T 等。但是，随着 CNC 技术的不断进步和复合加工机床的出现，在多轴控制的先进 CNC 上，两者功能已经融合。

1.1.2 车削类数控机床

车削加工机床是工业企业的最为常用的加工设备，它具有适用面广、结构简单、操作方便、维修容易等特点，可用于轴、盘类等回转体零件的外圆、端面、中心孔、螺纹等的车削加工。从结构布局上，工业企业常用的数控车削加工机床有卧式数控车床、立式数控车床两大类，以卧式数控车床的用量为最大。

卧式数控车床的主轴轴线为水平布置，它是所有数控机床中结构最简单，产量最大、使用最广泛的机床。根据机床性能和水平，目前市场使用的车削类数控机床可分为普及型和经济型、全功能型、车削中心、车铣复合加工中心、车削 FMC 等，其特点和主要用途如下。

1. 普及型数控车床

国产普及型和经济型数控车床是普通车床通过数控化改造得到的简易产品，其主要部件结构、外形基本相同。普及型和经济型数控机床的区别仅仅是所使用的进给驱动装置有所不同，普及型采用通用伺服驱动，经济型使用步进驱动。由于步进电动机[⊖]受最高运行频率、最大起动频率、步距角等参数的制约，其脉冲当量、快进速度、定位精度均较低，且还存在“失步”问题，因此，经济型数控车床的使用已越来越少。

常用的普及型数控车床如图 1.1-3 所示，这种机床只是根据数控机床的基本要求，对普通车床的相关机械部件作了部分改进，其床身、主轴箱、尾座、拖板等基本部件以及液压、冷却、照明、润滑等辅助部件的外形和基本结构与普通车床并无太大的区别。机床的一般特

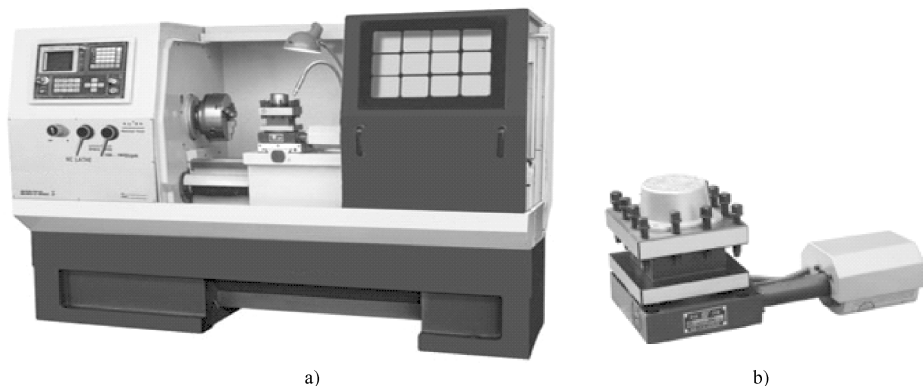


图 1.1-3 普及型数控车床

a) 外形 b) 刀架

[⊖] 由于在实际数控设备的显示中均为“电机”而非“电动机”，为方便读者对照学习，本书中凡涉及实际设备屏幕显示的地方，仍维持“电机”的叫法。

点如下。

(1) 主传动系统

普通车床的主轴电动机一般不具备电气调速功能，主轴变速需要通过主轴箱内的齿轮变速装置实现，它只能实现机械有级变速。普及型数控车床的主轴电动机一般采用变频调速，由于变频器调速的低频输出转矩很小，故仍需要通过机械齿轮变速提高主轴低速转矩，但其变速挡少于普通车床，主轴箱的结构也相对较简单。普及型数控车床的价格低廉，加工效率不高，其卡盘一般使用与普通车床相同的手动卡盘。

(2) 进给系统

普通车床一般无独立的进给驱动电动机，其进给动力来源于主电动机，主电动机经主轴箱、进给箱、光杠和丝杠、溜板箱转换为刀具（刀架）的纵向、横向进给运动，其机械传动装置复杂、部件众多。数控车床的刀具纵向、横向进给具有独立的 Z 轴、 X 轴进给驱动系统，驱动电机直接和进给丝杠联结，无进给箱和光杠、溜板箱等传动部件，其进给传动系统的结构十分简单。 Z 轴、 X 轴可在CNC的控制下进行定位或插补，刀具位置、速度和运动轨迹可任意控制。

(3) 换刀装置

数控机床需要通过CNC的加工程序自动控制加工过程，因此，无论经济型、普及型还是全功能型数控车床，自动换刀装置是其基本功能，这点与数控镗铣加工机床不同，即不能以是否具有自动换刀功能来区分数控车床和车削中心。

普及型数控车床的自动换刀装置一般比较简单，图1.1-3b所示的电动刀架是最为常用的自动换刀装置。电动刀架的结构简单、控制容易，但可安装的刀具数量少、定位精度低，且只能单向回转选刀、换刀时间长，通常只用于功能简单、精度和效率要求不高的普及型、经济型数控车床。

除以上主要部件外，为了适应自动加工的需要，数控车床的冷却、润滑等辅助部件一般也可通过CNC的辅助机能进行自动控制。

普及型数控车床的结构简单、价格低廉、维修容易，可用于简单零件的自动加工，但由于国产CNC的功能简单、定位精度低，特别是目前还不能真正做到在CNC上实现坐标轴闭环位置控制，加上机床可安装的刀具数量少，因此，无论是加工精度特别是轮廓加工精度、效率都与全功能型数控车床存在很大的差距，它们不能用于高速、高精度加工。

2. 全功能数控车床

典型的全功能数控车床如图1.1-4所示，其结构和布局均按数控机床的要求设计，机床采用斜床身布局，刀架布置于床身后侧，主轴箱固定安装在床身上，机床组成部件的主要特点如下：

(1) 主传动系统

全功能数控车床的主轴驱动采用专用交流主轴驱动装置，与普及型数控车床的感应电动机变频调速相比，其调速范围宽、低速输出转矩大、最高转速高，且还可实现主轴位置控制。因此，机床的主传动一般只采用一级同步皮带减速就可保证主轴具有良好的性能，其主轴箱的结构非常简单。在现代高速、高精度机床上，还经常使用高速主轴单元或电主轴代替主轴箱，使主轴具有很高的转速和精度。为了提高机床的加工效率和自动化程度，减小装夹误差，全功能数控车床的卡盘和尾座一般采用液压控制，工件松夹、尾座的伸缩均可自动

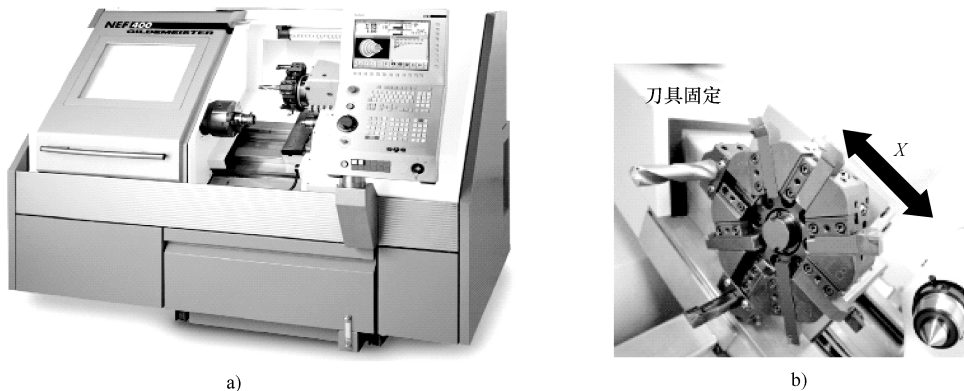


图 1.1-4 全功能数控车床

a) 外形 b) 刀架

进行。

(2) 进给系统

全功能数控车床的进给传动系统结构和普及型数控车床并无区别，但配套的是全功能数控，可通过 CNC 真正实现闭环位置控制，CNC 可以对进给速度、位置、轮廓误差进行实时监控，保证刀具运动轨迹的准确，因此，其轮廓加工精度要远高于普及型数控车床。

(3) 刀架

全功能数控车床适用于复杂零件的高速、高精度加工，因此，它对刀具容量、精度和换刀速度有提出了较高的要求，机床一般采用图 1.1-4b 所示的液压标准刀架。液压刀架一般采用液压松/夹、齿牙盘定位的结构，刀架可安装的刀具数量多，能双向回转、捷径选刀，分度精度高、定位刚性好，动作迅捷。

3. 车削中心

车削中心是在数控车床的基础上发展起来、可用于回转体零件表面铣削和孔加工的车铣复合加工机床，以卧式为常见。主轴具有 Cs 轴控制功能，刀架上可安装用于钻、镗、铣加工用的旋转刀具（Live Tool，又称动力刀具），刀具能够进行垂直方向运动（Y 轴）是车削中心和数控车床在功能上的主要区别。

典型的车削中心如图 1.1-5 所示，其外形和全功能数控车床十分类似，结构组成部件的技术特点如下：

(1) 主传动系统

车削加工是以工件旋转为主运动、刀具作进给运动的切削加工方法，而钻、镗、铣加工则是以刀具的旋转为主运动、工件或刀具作进给运动的加工方法，两者的工艺特征不同。因此，车削中心的主轴不但需要进行旋转运动；而且还必须能够在所需要的位置上定位并夹紧、进行铣削等加工，并参与基本坐标轴的插补、实现刀具的进给运动，即车削中心则必须同时具备速度、位置和 Cs 轴控制功能。

(2) 进给系统

回转体零件内外圆、端面车削加工，只需要有轴向（Z 轴）和径向（X 轴）进给运动，但其侧面、端面的孔加工和铣削加工，除了需要轴向和径向进给外，还需要有垂直刀具轴线

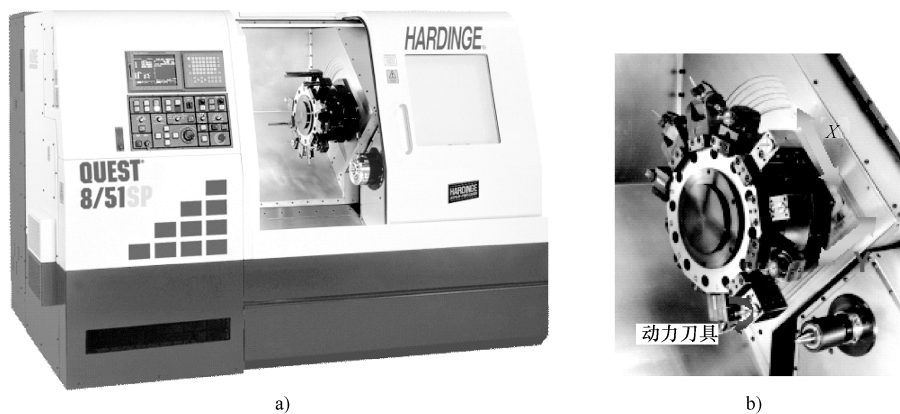


图 1.1-5 车削中心
a) 外形 b) 刀架

的运动才能实现，因此，车削中心至少需要有 X 、 Y 、 Z 三个进给轴。

(3) 刀架

车削中心的刀架如图 1.1-5b 所示，其外形和数控车床液压刀架类似，但内部结构和控制要求有很大的差别。数控车床刀架上的刀具不能旋转，刀架只有回转分度和定位功能。车削中心的刀架不但可安装固定的车刀，而且还可以安装本身能够旋转的钻、镗、铣加工刀具，这样的刀具称为动力刀具（Live Tool），才能进行孔加工或平面、轮廓、槽的铣削加工。因此，车削中心的刀架不但需要有回转分度和定位功能，而且还需要安装动力刀具主传动系统，其结构较为复杂。

4. 车铣复合加工中心

典型的车铣复合加工中心如图 1.1-6 所示。从数控车床的基础上发展起来的、以车削加工为主的中小型车铣复合加工中心的它通常以卧式斜床身数控车床为基础，其车削主轴的结构和车削中心相同，主轴为卧式布置、具有 C_s 轴控制功能，机床同样可配备尾架、顶尖等车削加工附件。

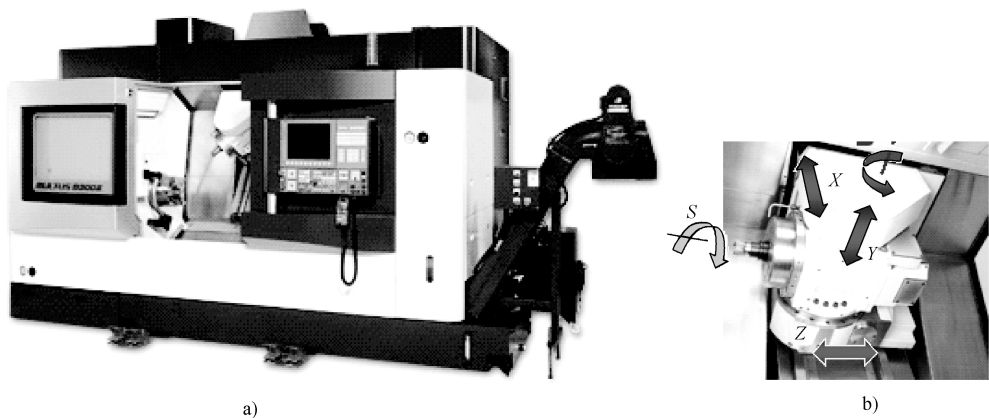


图 1.1-6 车铣复合加工中心
a) 外形 b) 刀架

车铣复合加工中心和车削中心的最大区别在刀架结构上。车削中心的刀架一般采用前述的转塔结构，动力刀具安装在转塔上，刀具交换通过转塔的回转分度实现。这种机床的刀具交换方便，可直接使用传统车刀且刚性好，但作为车铣中心，它存在 Y 轴行程小、铣削能力弱、动力刀具传动系统的结构复杂、传动链长、主轴转速低和刚性差等问题，因此，其铣削能力较弱。

车铣复合加工中心一般采用图 1.1-6b 所示的加工中心主轴结构和换刀方式。主轴可安装刀柄统一的车削和镗铣加工刀具，并可进行大范围（ 225° 左右）摆动，以调整刀具方向、进行倾斜面加工；自动换刀装置一般布置在床身的内侧，其结构与加工中心类似。

当机床进行内外圆或端面车削加工时，主轴换上车刀后锁紧，然后利用 B 轴的回转调整车刀方向（ $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内的任意方向）并定位夹紧，这样就可通过 X 、 Z 轴运动，对安装在车削主轴上的旋转工件进行车削加工。当机床需要进行侧面或端面铣削加工时，车削主轴切换到 C_s 轴控制方式、成为数控回转轴，机床便可通过铣削主轴对安装在车削主轴上的工件进行钻、铣、镗、攻螺纹等加工，且能通过 X 、 Y 、 Z 、 B 、 C 的联动实现五轴加工。

车铣复合加工中心的主轴一般为电动机直联或电主轴，其主轴箱结构紧凑，可安装的刀具规格大、主轴刚性好，主轴转速可达到每分钟上万转甚至数万转，故可以用于高速铣削加工。

以上结构较好地解决了车削中心的铣削能力不足的问题，且可用于五轴加工，但自动换刀装置的布置不方便，床身倾斜的布局对 Y 轴行程还有一定的限制，为此，大型车铣复合加工中心有时直接采用加工中心的立柱移动结构，这种机床和带 A 轴转台、主轴箱摆动的立式五轴加工中心非常类似，只是其 A 轴采用的是车床的主轴结构、并具有车床用的尾架、顶尖等基本部件而已，因此，它完全综合了数控车床和加工中心的特点。

5. 车削 FMC

车削 FMC 是在车削中心、车铣复合加工中心的基础上，通过增加工件自动输送和交换装置，构成的自动化加工设备。图 1.1-7 所示为国外著名机床厂家生产的车削 FMC 外形。

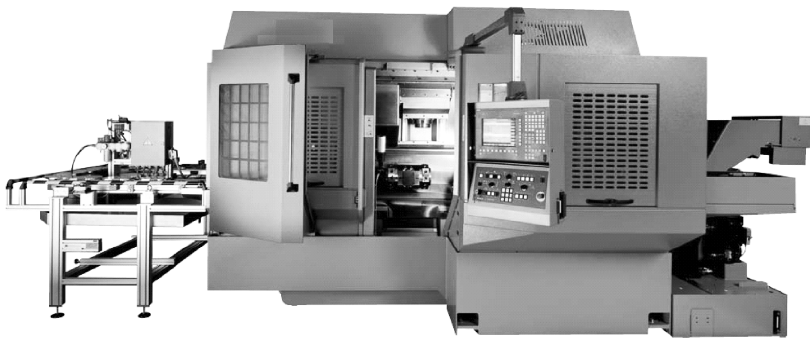


图 1.1-7 车削 FMC

FMC 是柔性加工单元（Flexible Manufacturing Cell）的简称，其最大特点是能够进行工件的自动交换，FMC 的主机可以是一台或几台数控车床、车削中心或车铣复合加工中心。FMC 不仅实现了工序的集中和工艺的复合，而且通过工件的自动交换，使得无人化加工成为可能，从而进一步提高了设备的加工效率。FMC 既是柔性制造系统的基础，又可以作为独立的自动化加工设备使用，因此，其发展速度也较快。