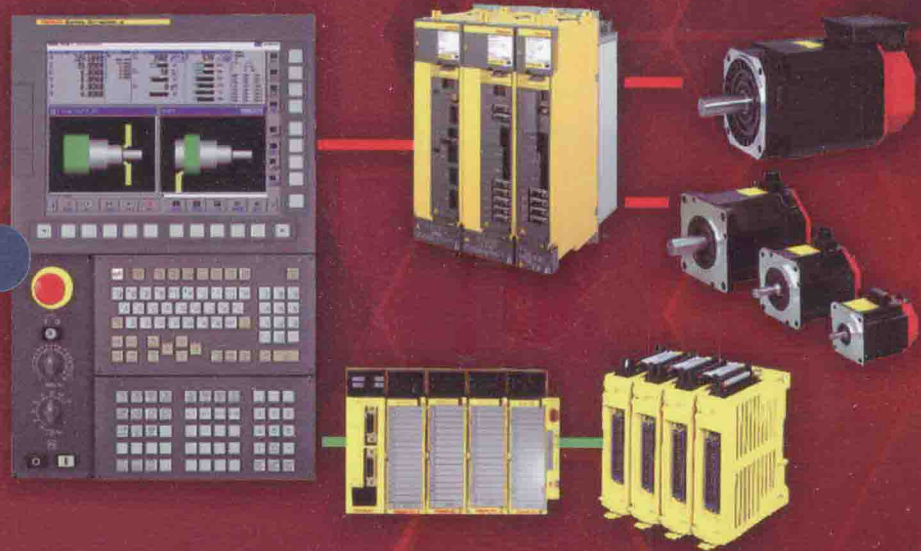


数控机床PMC 设计典例

龚仲华 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数控机床 PMC 设计典例

龚仲华 编著



机械工业出版社

本书紧跟数控机床技术发展前沿,借鉴国外先进产品的设计经验,全面阐述了数控机床 PMC 程序的设计方法,提供了丰富的 PMC 程序实例。

全书根据数控机床的实际控制要求,结合 FANUC 系统的 PMC 性能特点,在介绍 PMC 基础知识、编程指令的基础上,针对机床操作面板、数控车床换刀、加工中心换刀、主轴控制等 PMC 程序设计的重点和难点问题,就 PMC 程序的编程要求、设计思路和实现方法,进行了完整、系统、深入的介绍,并提供了大量设计科学、应用典型、实用性强的程序实例。

本书内容先进、选材典型、案例丰富,理论联系实际,面向工程应用,是数控机床电气设计、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

数控机床 PMC 设计典例/龚仲华编著. —北京:机械工业出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-111-48905-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 296439 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 阎洪庆 版式设计:常天培

责任校对:张玉琴 封面设计:路恩中

责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.25 印张·470 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-48905-4

定价:59.90 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

服务咨询热线:(010) 88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

数控机床是一种综合应用了计算机控制、精密测量、精密机械、气动、液压、润滑等技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。当前，数控机床已成为企业的主要加工设备，在机械加工各领域得到了极为广泛的应用。

数控机床的电气设计主要包括硬件（电路设计）和软件（PMC 程序设计）两方面。前者已在机械工业出版社出版的《数控机床电气设计典例》（龚仲华编著，2014 年 7 月）一书中进行全面阐述，本书是对后者的系统介绍。

数控系统集成 PMC 的程序设计事关 CNC 功能应用、机床动作、安全可靠运行等诸多方面，它是数控机床电气设计的重要内容，也是数控机床调试、维修人员必备的基本技能。虽然数控机床的 PMC 程序设计无规定的格式，但由于同类机床的控制要求、同类 CNC 的功能和信号类似，借助典型程序可大大提高设计效率和程序可靠性。本书根据数控机床的实际控制要求和 FANUC-PMC 的特点，介绍了 PMC 基础知识和编程指令，对机床操作面板、数控车床换刀、加工中心换刀、主轴控制等 PMC 程序设计的重点内容进行了系统、详尽的阐述，并提供了丰富的 PMC 程序实例。本书可为从事数控机床电气设计、维修的专业技术人员提供参考。

第 1 章介绍了数控机床、数控原理和数控系统的一般概念。

第 2 章叙述了 PLC（PMC）的一般原理与组成，介绍了 PLC 梯形图编程的一般方法，提供基本梯形图程序典例。

第 3 章介绍了 FANUC 系统 PMC 程序设计的基本格式、PMC-CNC 接口信号、PMC 编程指令。

第 4 章阐述了各类机床操作面板的 PMC 程序设计方法和程序典例，内容包括操作方式选择、手动进给控制、自动运行控制、倍率开关转换、用户面板控制等。

第 5 章阐述了各类数控车床自动换刀程序的设计方法和程序典例，内容包括辅助功能处理程序设计的基本要求，电动刀架、液压刀架、高速刀架的 PMC 控制程序等。

第 6 章阐述了各类加工中心自动换刀程序的设计方法和程序典例，内容包括刀库移动式换刀、主轴移动式换刀、凸轮机械手换刀、液压机械手换刀等。

第 7 章介绍了各类数控机床主轴控制程序的设计方法和程序典例，内容包括主轴速度控制、传动级交换、主轴定向与定位、刚性攻螺纹等。

目 录

前言

第 1 章 数控机床与系统	1
1.1 机床与数控	1
1.1.1 机床及控制	1
1.1.2 数控与数控机床	3
1.2 常见数控机床	5
1.2.1 车削类数控机床	5
1.2.2 镗铣类数控机床	8
1.3 数控原理与系统	13
1.3.1 数控系统组成	13
1.3.2 数控加工原理	15
1.3.3 普及型与全功能型 CNC	17
1.3.4 开环与闭环伺服系统	20
1.3.5 通用伺服和专用伺服	22
第 2 章 PLC 设计基础	25
2.1 PLC 组成与原理	25
2.1.1 PLC 特点与功能	25
2.1.2 PLC 组成与结构	28
2.1.3 PLC 工作原理	32
2.2 梯形图程序设计	35
2.2.1 PLC 编程语言	35
2.2.2 梯形图编程	38
2.2.3 典型梯形图程序	40
2.3 梯形图程序设计要点	45
2.3.1 梯形图不能实现的电路	45
2.3.2 继电器不能实现的程序	47
2.3.3 梯形图程序的优化	50
第 3 章 FANUC-PMC 编程	53
3.1 FANUC 系统简介	53
3.1.1 发展概况	53
3.1.2 当前产品	54
3.1.3 FS-0iD 主要功能	57
3.1.4 PMC 基本性能	61
3.2 PMC 编程说明	63
3.2.1 程序基本格式	63
3.2.2 CNC-PMC 接口信号	67

3.2.3 功能指令与编程	71
3.3 常用指令及编程	75
3.3.1 定时和计数指令	75
3.3.2 回转控制指令	78
3.3.3 数据比较、译码、传送类指令	80
3.4 逻辑和算术运算指令	87
3.4.1 逻辑运算指令	87
3.4.2 算术运算指令	89
3.5 子程序与程序跳转	92
3.5.1 子程序设计	92
3.5.2 跳转程序设计	95
3.6 数据表操作指令	98
3.6.1 数据检索	98
3.6.2 数据传送	101
3.7 其他功能指令	103
3.7.1 文本显示	103
3.7.2 CNC 数据读写	105
3.7.3 PMC 轴控制	108
第 4 章 操作面板控制程序典例	112
4.1 FANUC 面板程序设计	112
4.1.1 FANUC 面板简介	112
4.1.2 PMC 程序设计要求	115
4.2 操作方式选择程序典例	118
4.2.1 程序设计要求	118
4.2.2 MD4/MD2/MD1 控制程序	120
4.2.3 DNC/REF 及指示灯程序	121
4.3 手动进给控制程序典例	124
4.3.1 程序设计要求	124
4.3.2 程序设计典例	128
4.4 自动运行控制程序典例	130
4.4.1 程序设计要求	130
4.4.2 程序设计典例	133
4.5 FANUC 子面板程序典例	135
4.5.1 程序设计要求	135
4.5.2 倍率开关代码转换	137
4.5.3 程序设计典例	139



4.6 用户面板控制程序典例	141	6.3.4 机械手换刀程序典例	213
4.6.1 用户面板设计	141	6.4 液压机机械手换刀控制	220
4.6.2 面板基本程序典例	144	6.4.1 自动换刀控制要求	220
4.6.3 倍率调节程序典例	146	6.4.2 PMC 程序设计要求	224
4.6.4 倍率升降控制程序典例	148	6.4.3 刀具预选程序典例	226
第5章 数控车床换刀程序典例	153	6.4.4 换刀宏程序典例	230
5.1 辅助功能处理程序设计	153	6.4.5 机械手换刀程序典例	232
5.1.1 辅助功能说明	153	第7章 主轴控制程序典例	236
5.1.2 辅助功能处理	154	7.1 主轴控制要求	236
5.1.3 PMC 程序设计要点	156	7.1.1 车削加工数控机床	236
5.2 电动刀架控制程序	158	7.1.2 镗铣加工数控机床	238
5.2.1 程序设计要求	158	7.1.3 模拟主轴和串行主轴	239
5.2.2 PMC 程序典例	160	7.2 主轴速度控制程序典例	242
5.3 液压刀架控制程序	164	7.2.1 速度控制要求	242
5.3.1 程序设计要求	164	7.2.2 模拟主轴速度控制程序	245
5.3.2 PMC 程序典例	166	7.2.3 串行主轴速度控制程序	248
5.4 高速刀架控制程序	171	7.3 传动级交换程序典例	250
5.4.1 程序设计要求	171	7.3.1 功能说明	250
5.4.2 PMC 程序典例	174	7.3.2 T 型换档程序典例	252
第6章 加工中心换刀程序典例	179	7.3.3 M 型换档程序典例	257
6.1 刀库移动式换刀控制	179	7.4 主轴定向与定位程序典例	261
6.1.1 程序设计要求	179	7.4.1 功能说明	261
6.1.2 T 代码处理程序典例	184	7.4.2 机械定向程序典例	263
6.1.3 M 代码处理程序典例	187	7.4.3 串行主轴定向程序典例	264
6.2 主轴移动式换刀控制	192	7.4.4 串行主轴定位程序典例	267
6.2.1 程序设计要求	192	7.4.5 FS-0iTD 主轴定向程序典例	272
6.2.2 用户宏程序设计典例	196	7.4.6 FS-0iTD 主轴定位程序典例	276
6.2.3 PMC 程序设计典例	198	7.5 刚性攻螺纹程序典例	282
6.3 凸轮机械手换刀控制	201	7.5.1 功能与要求	282
6.3.1 程序设计要求	201	7.5.2 模拟主轴程序典例	283
6.3.2 随机刀具表的建立	207	7.5.3 串行主轴程序典例	286
6.3.3 刀具预选程序典例	209	附录 FS-0iD 接口信号总表	290

第1章

数控机床与系统

1.1 机床与数控

1.1.1 机床及控制

1. 机床

数控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、现代化程度和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，机床一般需要进行以下三方面的控制。

(1) 动作顺序控制

机床对零件的加工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 所示的简单攻丝机为例,为了完成攻螺纹动作,攻丝机需要按照图 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 4 步进行。

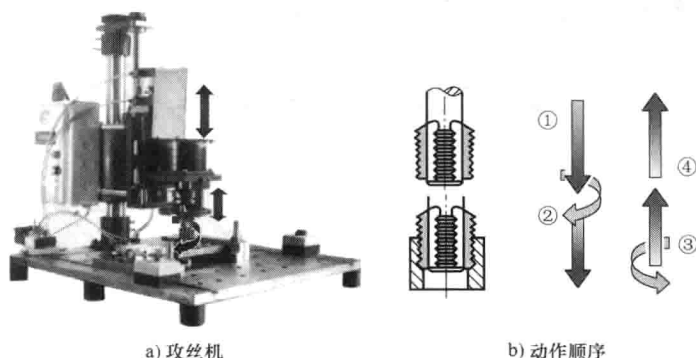


图 1-1 动作的顺序控制

机床的动作顺序控制只需要根据加工的动作顺序表,如电磁元件动作表等,按要求依次通断液压、气动、电动机等执行元件便可,因此,它属于开关量控制的范畴,即使利用传统的继电器-接触器控制系统也能实现,而 PLC (可编程控制器) 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动机的转速实现,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 1-2 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。

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(联动)才能实现,这样的控制只有通过数字控制技术(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。

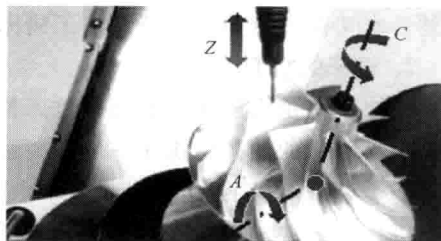


图 1-2 运动轨迹的控制



1.1.2 数控与数控机床

1. 数控的概念

数控 (Numerical Control, 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 (Computerized Numerical Control, 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。

2. 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, 金属切削机床的车削类、钻镗铣类机床占绝大多数, 因此, 它是数控技术应用最为广泛的领域。

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, 与此类机床有内外圆磨削类等, 这样的机床需要有轴向 (Z 轴) 和径向 (X 轴) 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、多主轴高效加工机床和车削 FMC (柔性制造单元) 等。

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、多主轴高效加工中心和 FMC 等。

为此, 作为数控机床的基本控制系统, 大多数 CNC 生产厂家习惯上将数控系统分为 M 和 T 两个系列产品, M 系列 CNC 至少具备 3 轴 ($X/Y/Z$) 控制功能, 用于钻镗铣类机床控制, 如 FANUC-0iMD、SIEMENS-810M、KND1000M 等; T 系列 CNC 至少具备 2 轴 (X/Z) 控制功能, 用于车削类机床控制, 如 FANUC-0iT D、SIEMENS-810T、KND1000T 等。

但是, 随着 CNC 技术的不断进步, 车铣复合加工、多主轴高效加工和 FMC 等先进数控机床日益普及, 它对数控系统提出了更高的要求, 例如, 车铣复合加工机床需要有多轴控制、Cs 轴控制功能, 多主轴高效机床需要有多通道控制功能等, CNC 的功能正在日益提高。

3. 数控机床的特点

数控机床是典型的机电一体化设备, 是现代制造技术的基础; 数控机床也是数控技术应用最早、最广泛的领域, 它代表了目前数控技术的性能、水平和发展方向。数控机床与普通机床比较, 具有以下基本特点。

1) 精度高。机床采用 CNC 控制后, 由于以下原因, 其定位精度和加工精度一般都要高于传统的普通机床。一是脉冲当量小。CNC 的脉冲当量决定了机床理论上可达到的定位精度, 当代 CNC 的脉冲当量一般都在 0.001mm 及以下, 它能实现比普通机床更精确的定位和加工。二是 CNC 具有误差自动补偿。CNC 一般都具备误差自动补偿功能, 机床进给传动系统的反向间隙、丝杠的螺距误差等均可通过 CNC 进行自动补偿, 因此, 即使在同等条件下, 数控机床的定位精度也高于普通机床。三是结构刚性好。数控机床的进给系统普遍采用滚珠丝杠、直线导轨等高效、低摩擦传动部件, 传动系统结构简单、传动链短、传动间隙小、部件刚性好, 它比普通机床具有更高的刚度、精度和稳定性。四是人为误差小。数控机床可通过一次装夹, 完成多工序的加工, 减少了零件的装夹过程的人为误差; 其零件的尺寸一致性好, 产品合格率高, 加工质量稳定。

2) 柔性强。机床采用 CNC 控制后, 只需更换加工程序, 就能进行不同零件的加工, 它为多品种、小批量加工及新产品试制提供了极大的便利。数控机床还可通过多轴联动控制, 实现空间曲线、曲面的加工, 加工普通机床难以或无法完成的复杂零件, 因此, 其适用范围更广、柔性比普通机床更强。

3) 生产效率高。零件加工效率决定于零件的实际加工时间和辅助加工时间。数控机床的加工效率主要体现在以下几个方面。一是数控机床的切削速度和进给量可以任意选择, 因此, 每一道工序都可选择最佳的切削用量, 以提高加工效率; 此外, 由于数控机床的刚性好, 允许进行大切削用量的强力切削, 其加工效率高, 实际加工时间短。二是数控机床的快速移动速度大大高于普通机床, 一般数控机床的快速移动速度通常都在 30m/min 以上, 在高速加工机床上, 更是可达到近 100m/min , 其刀具定位的时间非常短, 加工辅助时间比普通机床要小得多。三是数控机床一次装夹, 可完成多工序加工, 更换同类零件不需要重新调整机床, 大大节省了零件安装、调整时间。四是数控机床可实现精确、快速定位, 因此不必像普通机床那样, 需要在加工前对工件进行划线, 可节省划线工时。五是加工零件的尺寸一致性好, 质量稳定, 加工零件通常只需要进行首检与抽检, 可节省工件检验时间。

4) 有利于现代化管理。数控机床能准确地计算零件加工工时和费用, 有利于生产管理的现代化。先进的数控机床, 还可方便地连接到工厂自动化网络或信息管理网络中, 它为企



业的计算机辅助设计与制造和信息化管理提供了条件。

1.2 常见数控机床

1.2.1 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. 普及型和经济型数控车床

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。

常见的普及型数控车床如图 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。

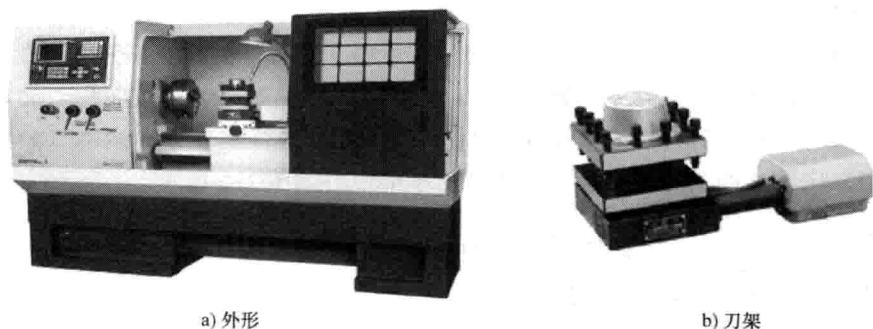


图 1-3 普及型数控车床

普及型数控车床的主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，但其变速档少于普通车床，主轴箱的结构也相对较简单。机床一般采用图 1-3b 所示的电动刀架进行自动换刀。

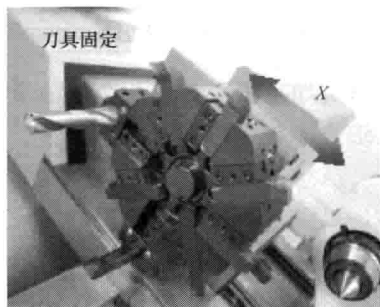
普及型数控车床的结构简单、价格低廉、维修容易，可用于简单零件的自动加工，但由于 CNC 的功能简单、目前还不能真正做到在 CNC 上实现坐标轴闭环位置控制，因此，无论是加工精度特别是轮廓加工精度、效率都与全功能型数控车床存在很大的差距，机床不能用于高速、高精度加工。

2. 全功能型数控车床

典型的全功能型数控车床如图 1-4 所示，其结构和布局均按数控机床的要求设计，机床多采用斜床身布局，刀架布置于床身后侧，主轴箱固定安装在床身上。



a) 外形



b) 刀架

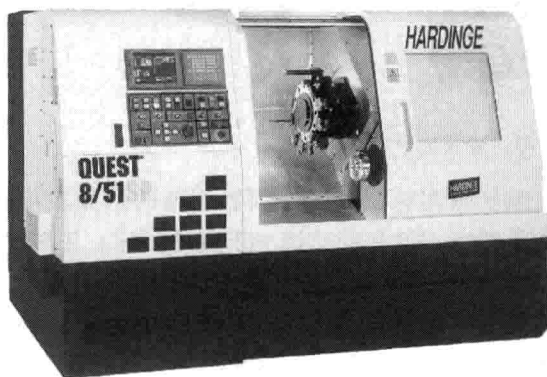
图 1-4 全功能型数控车床

全功能型数控车床配套的是进口全功能数控，它可通过 CNC 真正实现闭环位置控制，其轮廓加工精度要远高于普及型数控车床。全功能型数控车床的主轴驱动采用专用交流主轴驱动装置，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；在高速、高精度机床上，还经常使用高速主轴单元或电主轴，使主轴具有更高的转速和精度。

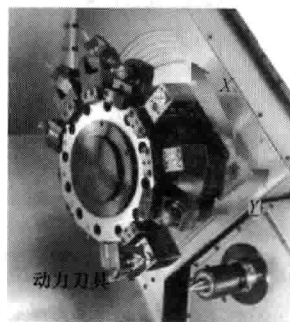
全功能型数控车床一般采用图 1-4b 所示的液压刀架。为了提高机床的加工效率和自动化程度，减小装夹误差，全功能型数控车床的卡盘和尾座一般采用液压控制，工件松夹、尾座的伸缩均可自动进行。

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 1-5 所示。



a) 外形



b) 刀架

图 1-5 车削中心



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，即车削中心必须同时具备速度、位置和 C_s 轴控制功能。

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。

车削中心的刀架如图 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），如此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 1-6 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。

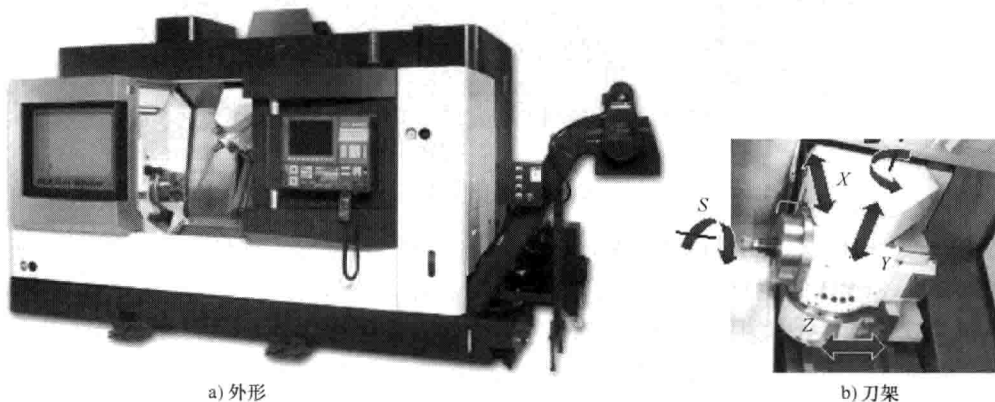


图 1-6 车铣复合加工中心

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 1-6b 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 轴的联动实现 5 轴加工。

车铣复合加工中心的主轴一般为电动机直连或电主轴, 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 5 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 5 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, 构成的自动化加工单元。图 1-7 为国外著名机床厂家生产的车削 FMC 外形。

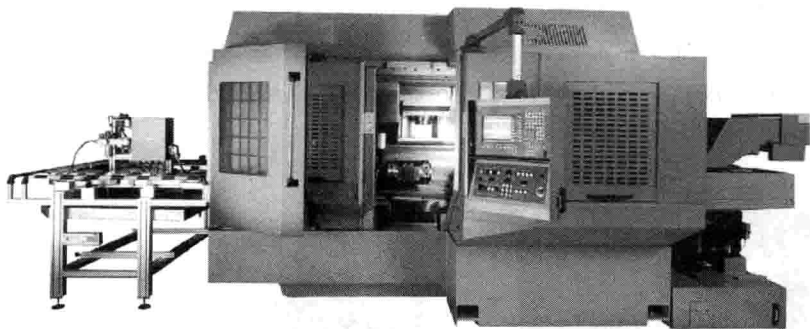


图 1-7 车削 FMC

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, 其发展速度较快。

1.2.2 镗铣类数控机床

镗铣加工数控机床的种类较多, 从机床的结构布局上, 可分为立式、卧式和龙门式三大类, 龙门式镗铣加工机床属于大型设备, 其使用相对较少; 立式和卧式镗铣加工机床是常用设备。根据机床性能和水平, 目前市场使用的镗铣类数控机床可分为数控镗铣床、加工中心、铣车复合加工中心、FMC 等, 其特点和主要用途如下。

1. 数控镗铣床

主轴轴线垂直布置的机床称为立式机床。立式数控镗铣床是从普通立式铣床基础上发展起来的数控机床, 根据通常的习惯, 人们将图 1-8a 所示, 从普通升降台铣床基础上发展起



来的数控镗铣加工机床称为数控铣床；而将图 1-8b 所示，从普通床身铣床基础上发展起来的数控镗铣加工机床称为数控镗铣床。

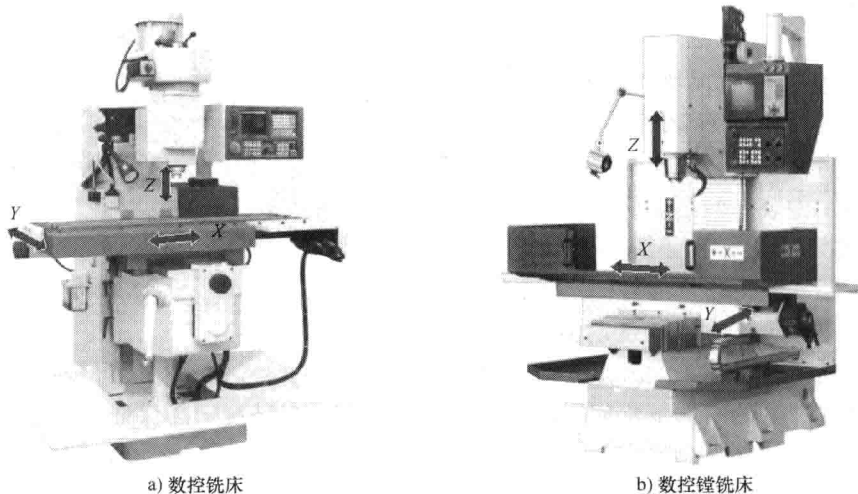


图 1-8 立式数控镗铣床

数控铣床和数控镗铣床的功能并无本质的区别，相对而言，数控镗铣床的孔加工能力较强、主轴的转速和精度较高，故更适合于高速、高精度加工，但其铣削加工能力一般低于同规格的数控铣床。

主轴轴线水平布置的机床称为卧式机床。卧式数控镗铣床是从普通卧式镗床基础上发展起来的数控机床，常见的外形如图 1-9 所示。

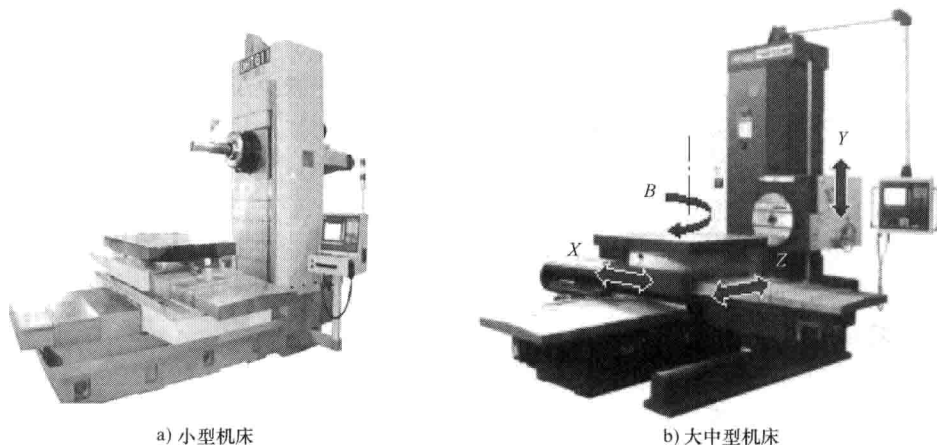


图 1-9 卧式数控镗铣床

卧式数控镗铣床以镗孔加工为主要特征，主要用来加工箱体类零件上侧面的孔或孔系。卧式机床的布局合理、工作台面敞开、工件装卸方便、工作行程大，故适合于箱体、机架等大型或结构复杂零件的孔加工。卧式数控镗铣床通常配备有回转工作台（ B 轴），可以完成工件的所有侧面加工，因此，相对立式镗铣床而言，其适用范围更广，机床的精度和价格也相对较高。



龙门式数控机床一般用于大型零件的镗铣加工，它由两侧立柱和顶梁组成龙门，主轴箱安装于龙门的顶梁或横梁上，其典型结构如图 1-10 所示。

龙门式数控机床的顶梁由两侧立柱对称支撑，滑座可在顶梁上左右移动（Y 轴），其 Y 轴行程大、工作台完全敞开，它可以解决立式机床的主轴悬伸和工件装卸问题。同时，由于 Y 轴位于顶梁（或横梁）上，也不需要考虑切屑、冷却水的防护等问题，工作可靠性高。龙门式机床的 Z 轴行程可通过改变顶梁高度调整；在横梁移动的机床上，还可通过横梁的升降扩大 Z 轴行程、提高主轴刚性，它还可以解决卧式机床所存在的主轴或刀具的前端下垂问题，其 Z 轴行程大、加工精度容易保证。

龙门式镗铣床的 X 轴运动可通过工作台或龙门的移动实现，其最大行程可以达到数十米；Y 轴行程决定于横梁的长度和刚性，最大可达 10m 以上；Z 轴运动可通过横梁升降和主轴移动实现，一般可达数米；机床的加工范围远远大于立式机床和卧式机床，可用于大型、特大型零件的加工。

2. 加工中心

镗铣加工机床采用数控后，不仅实现了轮廓加工的功能，而且可通过改变加工程序来改变零件的加工工艺与工序，增加了机床的柔性。但数控镗铣床由于不能自动换刀，因此，其加工效率相对较低。为此，人们研制了图 1-11 所示、带有自动刀具交换功能（Automatic Tool Changer, ATC）的 NC 机床，并称之为加工中心（Machining Center）。

加工中心通过刀具的自动交换，可一次装夹完成多工序的加工，实现了工序的集中和工艺的复合，从而缩短了辅助加工时间，提高了机床的效率；减少了零件安装、定位次数，提高了加工精度，它是目前数控机床中产量最大、使用最广的数控机床之一，其种类繁多、结构各异，立式、卧式和龙门式加工中心属于常见的典型结构。

为了提高加工效率、缩短辅助时间，卧式加工中心经常采用图 1-11b 所示的双工作台交换装置，这种机床虽能实现工件的自动交换，但增加双工作台交换的主要目的是提高效率、缩短工件装卸辅助时间，且只能进行一个工件的交换，故不能称为 FMC。

3. 铣车复合加工中心

铣车复合加工中心是近年来发展起来的新颖机床，它集刀具回转的镗铣加工与工件回转的车削加工于一体，可以满足高效、高精度加工的要求。

立式和龙门式加工中心实现铣车复合加工较为容易，它是铣车复合加工中心的常见形式。立式和龙门式加工中心只需要以车削加工的高速数控转台代替传统的数控回转工作台，就可实现铣车加工的复合。立式铣车复合加工中心的常见结构有两种：一种是以 A 轴为车削主轴、主轴箱摆动（B 轴）的结构；另一种是以 C 轴为车削主轴、A 轴转台摆动的结构，前者适合于长度较长的轴类零件铣车复合加工，故又称棒料加工中心；后者适用于长度较短的法兰、端盖类零件铣车复合加工，并可用于多主轴加工。

棒料加工中心一般以主轴箱摆动的五轴立式加工中心为基型，工作台上安装有卧式高速

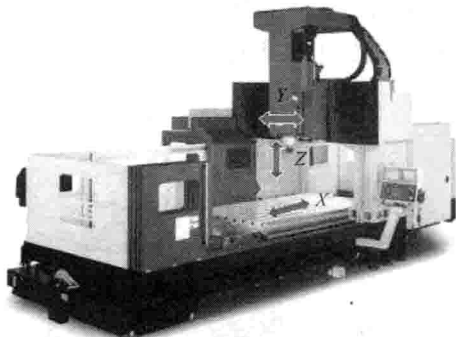
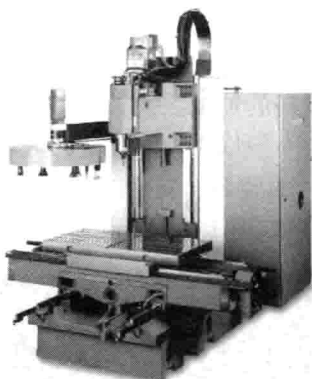
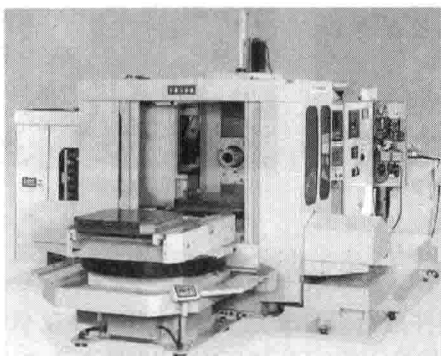


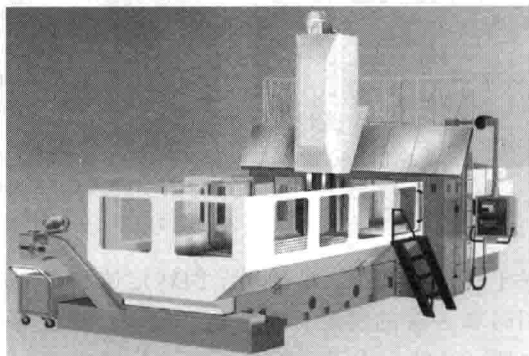
图 1-10 龙门式数控镗铣床



a) 立式



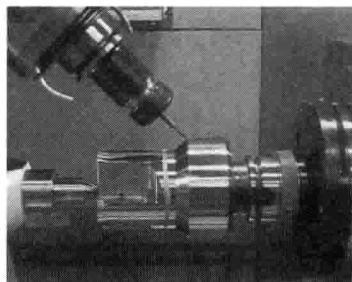
b) 卧式



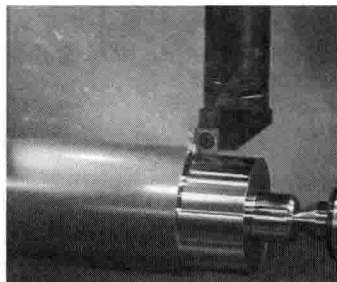
c) 龙门式

图 1-11 加工中心

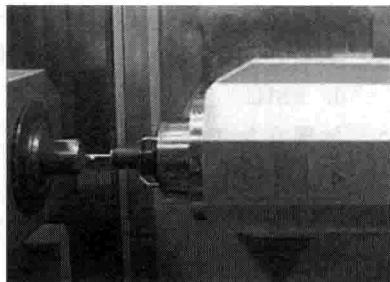
数控转台 (A 轴); 主轴箱可绕 Y 轴左右摆动 (B 轴); 机床工作台上一般安装有平行 X 轴的辅助运动轴 (U 轴), 用来安装尾架、夹持器等车削加工辅助部件。棒料加工中心的功能和用途如图 1-12 所示。



a) 五轴铣削



b) 外圆端面车削



c) 端面孔加工

图 1-12 棒料加工中心的功能

当机床用于镗铣类加工时, A 轴用于回转定位和切削进给, 主轴换上镗铣类刀具, 机床便可通过 A 轴回转和 B 轴摆动, 对轴类零件的侧面进行图 1-12a 所示的五轴孔加工或平面、槽的铣削加工。当 B 轴在 0° 位置定位夹紧、 A 轴切换到高速旋转方式、主轴换上车刀并锁紧时, 机床可像卧式数控车床那样, 通过 X 、 Z 轴的运动, 对 A 轴上的旋转工件进行图 1-12b 所示的轴类零件外圆、端面车削加工。当 B 轴在 90° 位置夹紧、 A 轴定位并夹紧、主轴