

FANUC-0iD

选型与设计

龚仲华○编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

FANUC - 0iD 选型与设计

龚仲华 编著



机械工业出版社

本书包括了 FANUC - 0iD 数控系统选型与设计的全部内容。选型部分对 FS - 0iD 的硬件和配置、软件和功能进行了详尽介绍；设计部分对 CNC 系统的工程设计与计算知识、控制系统的电路设计和 PMC 程序设计方法等进行了全面阐述。

本书涵盖了 FANUC - 0iD 的 CNC 规格和连接说明书、 $\alpha i/\beta i$ 驱动规格和连接说明书、PMC 编程说明书等多种手册的选型和设计知识。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

FANUC-0iD 选型与设计/龚仲华编著. —北京：机械工业出版社，2013.5

ISBN 978 - 7 - 111 - 42089 - 7

I . ①F… 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 (2013) 第 070685 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：姜 婷

封面设计：陈 沛 责任印制：张 楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 23.25 印张 · 590 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 42089 - 7

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

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 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、调试维修和设计人员的不同需要, 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设计及调试、维修人员编写的选型和设计手册, 第 1 章简要介绍了各类数控机床、数控原理和 FANUC 产品, 第 2~9 章系统阐述了 FS-0iD 选型和设计两部分内容。

第 2、3 章为选型部分。本部分对 FS-0iD 的 CNC 单元、操作面板、伺服及主轴驱动器、伺服及主轴电动机等组成部件规格、技术参数及 FS-0iD 的软件功能进行了系统说明, 内容涵盖了 FANUC-0iD 的 CNC 规格说明书、 α i/ β i 驱动器和电动机规格说明书、FANUC-0iD 功能说明书等多种手册的选型和设计知识, 对产品特点和技术参数说明详尽, 功能阐述具体, 希望能为读者选择 CNC 硬件和软件提供帮助。

第 4~9 章为设计部分。本部分对 CNC 系统的工程设计与计算知识、控制系统的电路设计和 PMC 程序设计方法等进行了全面阐述, 它不仅包括了 FANUC-0iD 的 CNC 连接说明书(硬件)、 α i/ β i 连接说明书、PMC 编程说明书等手册的设计知识, 而且还介绍了国外先进的设计标准和安全设计规范, 知识先进实用, 案例丰富典型, 希望能为读者更好地完成数控系统设计提供帮助。

本书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。本书的编写也得到了 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, 殷切期望得到广大读者与同行专家的帮助指正。

编著者
2013 年 2 月

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 2

1.2 数控车削加工机床 4

1.2.1 普通数控车床 4

1.2.2 车削中心和车铣复合机床 ... 7

1.2.3 多主轴机床和车削 FMC 8

1.3 数控镗铣加工机床..... 12

1.3.1 数控镗铣床和加工中心..... 12

1.3.2 铣车复合加工中心..... 15

1.3.3 多主轴加工中心..... 17

1.3.4 FMC、FMS 和 CIMS 19

1.4 数控原理与系统..... 21

1.4.1 数控系统组成..... 21

1.4.2 数控加工原理..... 23

1.4.3 普及型与全功能型 CNC ... 25

1.4.4 伺服驱动系统..... 27

1.4.5 通用伺服和专用伺服..... 29

1.5 FANUC 产品简介 31

1.5.1 发展简史..... 31

1.5.2 当前产品..... 32

第2章 FS-0iD 硬件与配置 36

2.1 CNC 与操作面板 36

2.1.1 系统组成与结构..... 36

2.1.2 CNC 基本单元 38

2.1.3 机床操作面板..... 41

2.1.4 CNC 配置方案 45

2.2 I/O 单元 47

2.2.1 I/O 单元及规格 47

2.2.2 操作面板 I/O 单元 50

2.2.3 机床 I/O 单元..... 51

2.2.4 分布式 I/O 和 β i 驱动器 ... 53

2.3 驱动器..... 54

2.3.1 组成部件..... 54

2.3.2 α i 驱动器 57

2.3.3 β i 驱动器 61

2.4 伺服电动机..... 65

2.4.1 产品概述..... 65

2.4.2 α i 伺服电动机 66

2.4.3 β i 伺服电动机 70

2.5 主轴电动机..... 72

2.5.1 产品概述..... 72

2.5.2 α iL 标准电动机 74

2.5.3 α iP 宽调速电动机..... 78

2.5.4 β i 主轴电动机 81

第3章 FS-0iD 功能与软件 83

3.1 FS-0iD 功能总表 83

3.2 进给轴控制功能..... 89

3.2.1 基本概念..... 89

3.2.2 基本功能..... 92

3.2.3 特殊功能..... 94

3.2.4 保护功能..... 97

3.3 插补进给功能 100

3.3.1 插补功能 100

3.3.2 进给控制 102

3.4 主轴控制功能 106

3.4.1 基本概念 106

3.4.2 速度控制 109

3.4.3 位置控制 111

3.5 CNC 其他功能 113

3.5.1 辅助控制功能 113

3.5.2 误差补偿功能 115

3.5.3 常用软件简介 117

第4章 CNC 系统设计与计算 120

4.1 设计原则和步骤 120

4.1.1 设计原则 120

4.1.2 设计步骤 121

4.2 主轴系统设计与计算 123

4.2.1 交流调速指标	123	6.1.2 主电路设计	182
4.2.2 主轴电动机基本 参数的确定	125	6.1.3 工程设计实例	184
4.2.3 机床切削能力的计算	127	6.2 CNC 接口电路设计	187
4.2.4 加减速计算	129	6.2.1 CNC 基本连接	187
4.3 进给系统稳态设计	131	6.2.2 RS232 接口连接	191
4.3.1 伺服电动机基本 参数的确定	131	6.3 I/O 连接电路设计	193
4.3.2 负载转矩的计算	133	6.3.1 Oi - I/O 单元	193
4.3.3 转矩匹配与设计实例	135	6.3.2 电气柜 I/O 单元	197
4.4 进给系统动态设计	137	6.3.3 操作面板 I/O 单元	199
4.4.1 线性加减速系统	137	6.3.4 分布式 I/O 单元	201
4.4.2 动态响应分析	140	6.4 操作面板连接电路设计	203
4.4.3 S 形加减速设计原则	143	6.4.1 主面板	203
4.4.4 S 形加减速参数确定	145	6.4.2 小型主面板	208
4.5 驱动器选择	148	第 7 章 驱动系统电路设计	212
4.5.1 驱动器电流的计算	148	7.1 α i 伺服驱动电路	212
4.5.2 加/减速电流的计算	150	7.1.1 α i 驱动总体设计	212
4.5.3 驱动器选择实例	151	7.1.2 电源模块连接电路	216
4.6 电柜散热设计	153	7.1.3 伺服模块连接电路	217
4.6.1 基本部件发热量	153	7.2 α i 主轴驱动电路	220
4.6.2 驱动器发热量	155	7.2.1 基本连接电路	220
4.6.3 散热计算实例	157	7.2.2 扩展连接电路	223
4.6.4 热交换器和空调器选择	158	7.3 β i 伺服/主轴驱动电路	226
第 5 章 电气控制系统设计	161	7.3.1 β iSV 伺服驱动器	226
5.1 电路设计准则	161	7.3.2 β iSVSP 一体型驱动器	231
5.1.1 基本电路设计	161	7.4 β i - I/O - Link 驱动电路	235
5.1.2 安全设计准则	162	7.4.1 总体设计要求	235
5.1.3 安全电路设计	165	7.4.2 特殊控制信号	236
5.2 I/O 连接电路设计	166	第 8 章 基本 PMC 程序设计	240
5.2.1 汇点输入电路	166	8.1 PMC 概述	240
5.2.2 源输入电路	169	8.1.1 PMC 工作原理	240
5.2.3 其他输入电路	171	8.1.2 PMC 编程语言	243
5.2.4 PMC 输出电路	173	8.1.3 PMC 程序结构	246
5.3 工程设计实例	175	8.1.4 OiD - PMC 性能	247
5.3.1 基本电路设计	175	8.2 PMC 基本指令编程	250
5.3.2 安全电路设计	178	8.2.1 梯形图设计准则	250
第 6 章 CNC 基本电路设计	181	8.2.2 典型梯形图程序	254
6.1 总体设计要求	181	8.2.3 程序设计实例	257
6.1.1 FS - OiD 连接总图	181	8.3 常用功能指令及编程	260
		8.3.1 功能指令概述	260
		8.3.2 定时和计数指令	265

8.3.3 回转控制指令	268	9.4.4 CNC 参数读写	316
8.3.4 比较/译码/转换/传送/ 判别指令	270	9.4.5 伺服参数读写	319
8.4 逻辑和算术运算指令	277	9.4.6 串行主轴参数读入	320
8.4.1 逻辑运算指令	277	9.4.7 刀具寿命管理数据读写 ...	322
8.4.2 算术运算指令	279	9.5 PMC 轴控制	325
8.5 PMC 程序设计实例	281	9.5.1 基本说明	325
8.5.1 定时和回转控制实例	281	9.5.2 PMC 轴控制指令	326
8.5.2 JOG 速度选择程序	284	附录	329
8.5.3 主轴倍率升降程序	288	附录 A CNC 部件安装尺寸	329
第 9 章 特殊 PMC 程序设计	292	A.1 MDI/LCD/CNC 单元	329
9.1 子程序与跳转程序	292	A.2 机床操作面板	332
9.1.1 子程序设计	292	A.3 I/O 单元	335
9.1.2 跳转程序设计	295	A.4 接口单元	336
9.2 数据表操作指令	298	附录 B FANUC 伺服电动机 安装尺寸	338
9.2.1 数据检索	298	B.1 α S 系列伺服电动机	338
9.2.2 数据传送	301	B.2 α F 系列伺服电动机	341
9.3 文本显示及输入	302	B.3 β S 系列伺服电动机	343
9.3.1 文本显示	302	附录 C FANUC 主轴电动机 安装尺寸	346
9.3.2 文本的程序输入	304	C.1 α iL/ α iP 主轴电动机	346
9.4 CNC 数据读写	306	C.2 β i 主轴电动机	348
9.4.1 数据读写功能说明	306	附录 D CNC/PMC 接口信号表	351
9.4.2 CNC 状态信息读写	310		
9.4.3 程序执行信息读写	312		

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，更谈不上发展经济，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《金属切削机床 型号编制方法》对机床进行分类可得：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 1.1-1 所示的简单攻螺纹机为例，为了完成攻丝动作，攻丝机需要按照图 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 4 步进行。

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

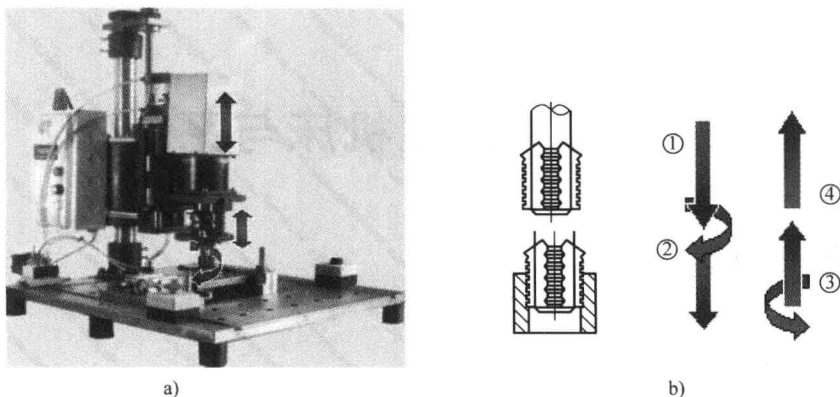


图 1.1-1 动作的顺序控制

a) 攻螺纹机 b) 动作顺序

的继电器—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。

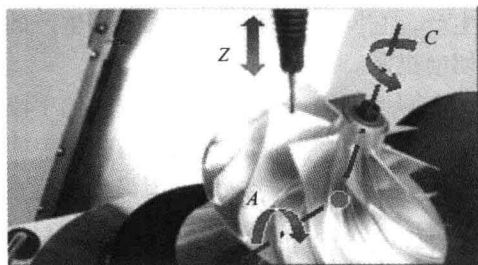


图 1.1-2 运动轨迹的控制

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。

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、多主轴高效加工机床和车削 FMC 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、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-0iM、SIEMENS-810M、KND100M 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、SIEMENS-810T、KND100T 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，它们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. 数控机床的基本特点

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，它可为多品种、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加工，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 数控车削加工机床

1.2.1 普通数控车床

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 1.2-1 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。机床的一般特点如下。

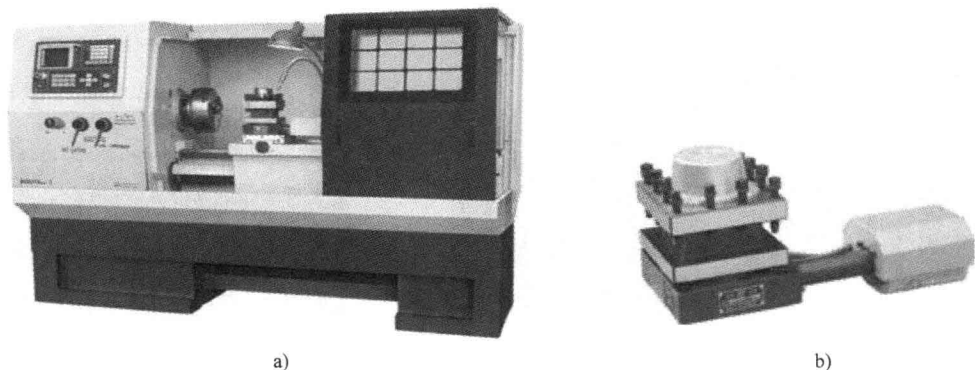


图 1.2-1 普及型数控车床

a) 外形 b) 刀架

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轴电动机,主轴电动机经主轴箱、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,驱动电动机直接和进给丝杠连接,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 1.2-1b 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 1.2-2 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,机床的主要特点如下。

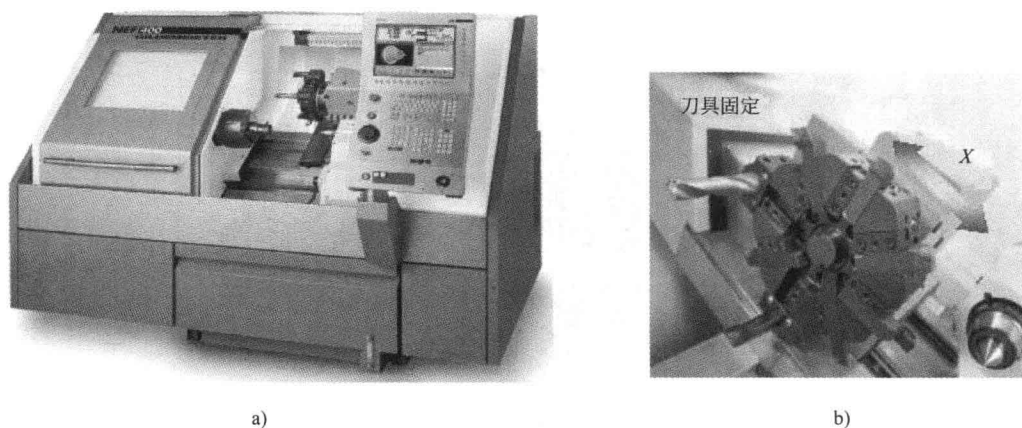


图 1.2-2 全功能数控车床

a) 外形 b) 刀架

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传动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,机床一般采用如图 1.2-2b 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。

1.2.2 车削中心和车铣复合机床

1. 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1.2-3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。

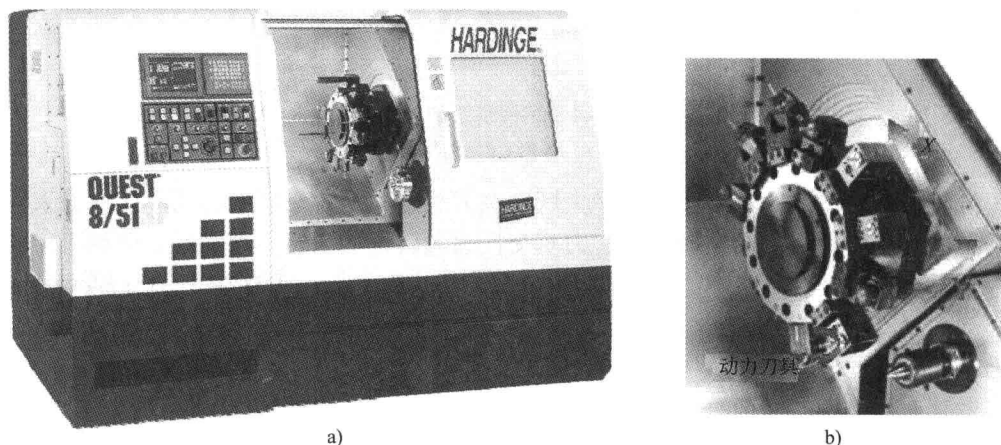


图 1.2-3 车削中心

a) 外形 b) 刀架

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1.2-3b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。

2. 车铣复合加工中心

典型的车铣复合加工中心如图1.2-4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。

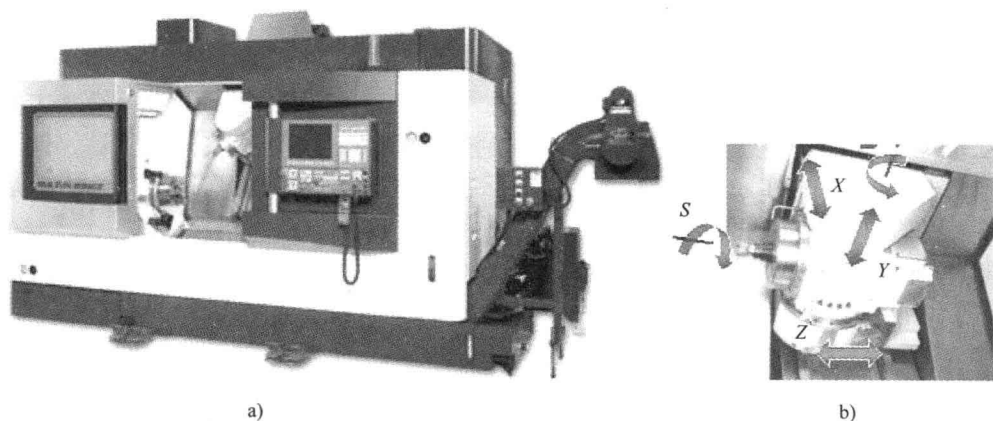


图 1.2-4 车铣复合加工中心

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 1.2-4b 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、攻丝等加工，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，主轴转速每分钟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。

1.2.3 多主轴机床和车削 FMC

1. 多主轴数控车床

数控车床是用于面广量大的回转体零件加工的设备，但只有单个主轴的车削机床存在两

方面的问题。第一，加工时，工件必须有一端作为夹持端，如不重新装夹工件，机床无法对夹持端进行加工，即存在二次装夹与加工问题，它不仅增加了加工辅助时间，同时还会带来装夹误差；第二，机床在任意时刻只能进行单工序加工，这对于工序众多、但每一道工序的加工时间短暂的小型零件加工，需要频繁换刀，导致加工辅助时间的增加。

多主轴数控车床就是用来解决以上问题的高效加工设备，其常见形式有两类：一是图 1.2-5a 所示的双主轴机床，它以解决二次装夹与加工为主要目的；二是图 1.2-5b 所示的多主轴同时加工机床，它以提高加工效率为主要目的。

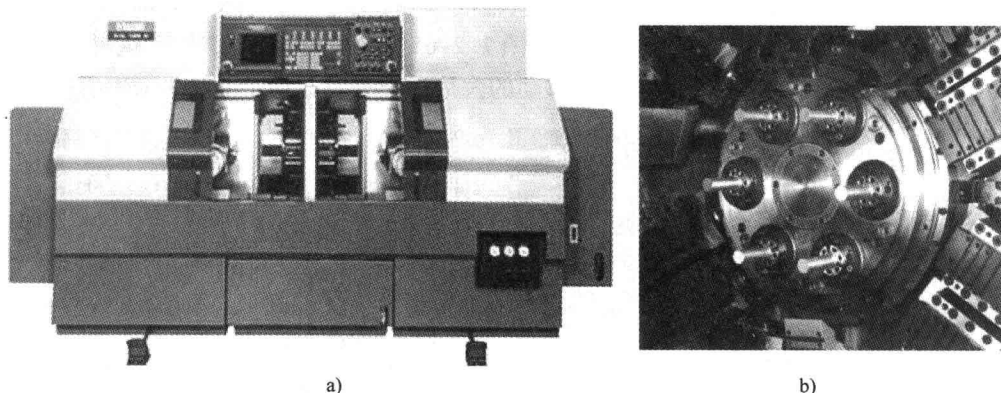


图 1.2-5 多主轴数控车床

a) 双主轴 b) 六主轴

双主轴数控车床的基本形式如图 1.2-5a 所示，这种机床可用于不同规格的零件加工，其通用性强、用途广、生产厂家多，是最常见的多主轴数控车床。机床多以卧式数控车床为基型，结构类似于两台共用床身、对称布置的数控车床，其左右两侧都安装有主轴箱、刀架等部件，并有独立的 X 、 Z 轴和主传动系统，两边可同时加工。左右主轴一般采用同轴、对置布置，当一个主轴（主主轴）完成一端加工后，另一主轴（副主轴）可夹持工件的加工完成端，将工件从主主轴转移到副主轴，利用副主轴完成主主轴的夹持端加工；与此同时，主主轴又可进行下一工件的加工端加工。这种机床不仅解决了夹持端的加工问题，而且主副主轴均得到了充分利用，其加工效率相当于两台同时加工的机床。

多主轴同时加工机床指由两个以上主轴在同一时间对多个相似工件实施加工的机床，它可成倍提高加工效率，但不能解决夹持面的二次装夹与加工问题。典型的多主轴数控车床如图 1.2-5b 所示，该机床带有六个平行主轴和独立的排刀刀架，一次加工循环就可完成六个相同工件的加工。

多主轴同时加工机床的刀架、主轴和进给传动系统的布置十分困难，因此，机床大多采用几个主轴共用主轴电动机和驱动电动机的结构，并采用排刀刀架，每一主轴的刀具数一般在 4 把以内，最大工件直径通常不超过 50mm，故适合于工序简单、棒料成型的接头类零件的批量加工，其专用性很强。

双主轴数控车床一般采用共用床身、主副主轴同轴的结构，故它一般不能安装尾架、顶尖等附件。在多数情况下，工件的加工端加工相对复杂，要求也较高，故机床一般采用主轴固定、副主轴移动式结构，副主轴的主轴电动机规格、刀架容量、刀具规格略小于主轴。如果主/副主轴均具有 C_s 轴控制功能、主/副刀架都能安装动力刀具并进行垂直方向

(Y轴)的运动,这就是一台双主轴的车削中心。

双主轴数控车床一般有独立的主/副刀架,刀架可采用图 1.2-5a 所示的统一上置或图 1.2-6a 所示的上下布置。双刀架上置的机床,主/副主轴一般不能共用刀具,故适合于加工端和夹持端完全分离的零件加工,但由于副主轴可全程移动,在特殊情况下也可通过主刀架上进行副主轴上零件的加工。刀架上下布置时,主/副刀架均可全程移动,两主轴可共用刀具,这种机床既可用于两端独立加工,也可用于长轴零件和棒料的双刀架联合加工。

小型双主轴数控车床也有使用单刀架的情况,这种刀架可两边安装刀具(如排刀刀架),它可以通过刀具的合理布置,利用副主轴的移动,实现双主轴同时加工。在多工序、棒料零件加工的大中型机床上,还经常采用图 1.2-6b 所示的三刀架结构,这种机床不但有独立的主/副刀架,而且还有一个可全程移动的公用刀架,其适应性更强,使用更灵活。

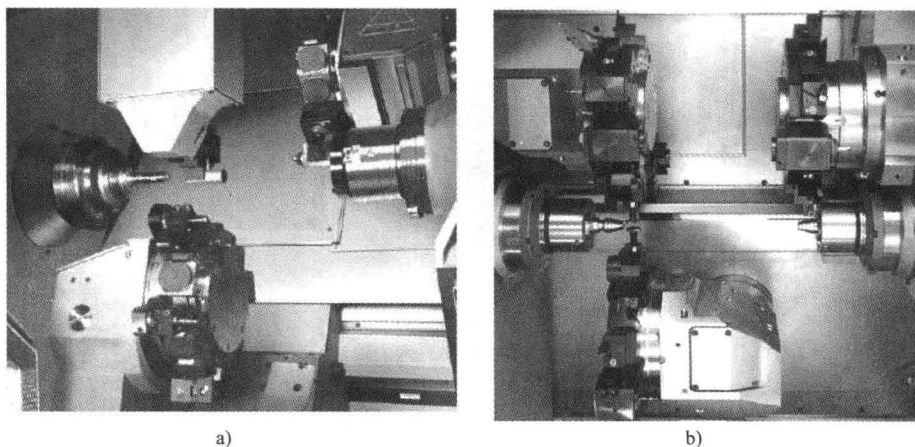


图 1.2-6 多主轴数控车床的刀架布置

a) 上下双刀架 b) 三刀架

基本型双主轴数控车床的结构简单、加工范围宽,但在接头、阀芯等小型零件加工的机床上,这种主/副主轴对置、双刀架的结构存在结构松散、空程长、体积大等问题。为此,出现了图 1.2-7 所示的刀架安装副主轴的新颖双主轴数控车床。

这种机床的副主轴直接安装在刀架上,机床带有三个刀架:安装有副主轴的上置主刀架主要用于主主轴的孔加工和副主轴转位;下置的辅助转塔刀架主要用于主/副主轴的端面和外圆加工;副主轴的孔加工由上置的排刀刀架完成。机床的加工时先由主刀架和下置辅助刀架完成主主轴的加工端加工;然后将工件转移到主刀架的副主轴上,由辅助刀架完成夹持端的端面、外圆加工,完成后通过主刀架的转位和 X/Z 轴的运动,用排刀刀架进行副主轴的孔加工。这种机床通过合理安排工序和刀具,主/副主轴的加工可同时、连续进行,而且可安装的刀具多、机床结构紧凑、行程可得到有效利用,但副主轴只能采用电主轴直接驱动,其最高转速可达到数万转,故适合于喷油嘴、阀芯等小型复杂零件的高效加工。

2. 倒置式车床

卧式数控车床的结构稳定,工艺性好,棒料的自动进料方便,但对于端盖、法兰类零件的大批量加工,其自动上下料装置的结构较复杂,为此,出现了倒置式车床。倒置式车床采用了立式主轴、卡盘向下的结构,刀架布置在主轴下方,其 X/Z 运动通过卡盘移动实现,故可通过卡盘的运动装卸工件,实现端盖、法兰类零件的快速自动上下料。如果刀架可进行