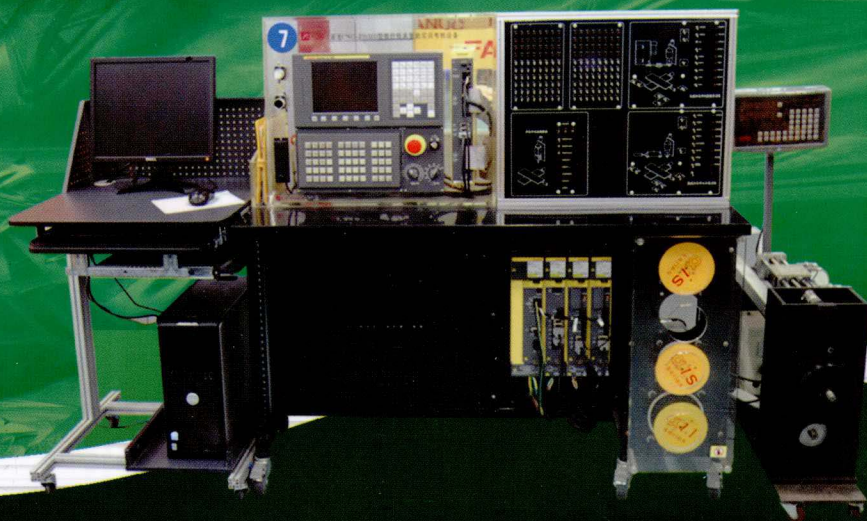


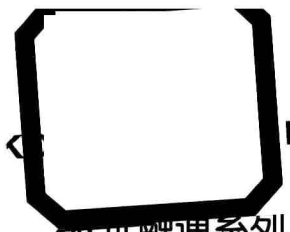
双证融通系列丛书

数控机床电气控制 简明教程

李方园 李亚峰 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



双证融通系列丛书

免费电子资源下载

数控机床电气控制简明教程

李方园 李亚峰 等编著



机械工业出版社

本书以数控机床为对象,全面、系统地介绍了低压电器、数控系统、主轴变频与伺服、进给步进与伺服、检测传感器和 PLC 等方面的内容。按照应知应会的岗位培训方式,不仅有详尽的理论知识,同时对每一个项目给出了具体的训练任务。本书重点围绕市场上应用最广泛的 FANUC 公司和西门子子公司两种机型展开,贴近工程实际,有很强的实用性和可操作性。

本书深入浅出、图文并茂,侧重于数控机床电气控制系统的实际应用技术,可作为大专院校机电一体化、电气自动化及其他有关专业的教材,还可作为工程技术人员和培训班学员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制简明教程/李方园,李亚峰等编著. —北京:机械工业出版社,2012.10

(双证融通系列丛书)

ISBN 978-7-111-39894-3

I. ①数… II. ①李… ②李… III. ①数控机床—电气控制—教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 230119 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:林春泉 责任编辑:吕 潇

版式设计:霍永明 责任校对:刘雅娜

封面设计:路恩中 责任印制:李 妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·441 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-39894-3

定价:48.00 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

序

本套“维修电工培训与电类人才培养”双证融通系列丛书是在全社会大力推进“工学结合、产学合作”的大环境下推出的。丛书以服务为宗旨，以就业为导向，以提高学生（学员）素质为核心，以培养学生（学员）职业能力为本位，全方位推行产学合作，强调学校（培训机构）与社会的联系，注重理论与实践的结合，将分层化国家职业标准的理念融入课程体系，将国家职业资格标准、行业标准，融入课程标准。

目前，在很多高职院校、应用型本科中都有“电气自动化技术”专业，其对应的第一岗位就是电气设备及其相关产品的设计与维护，对应的考证为维修电工（中高级）。因此，本丛书以目前在各类高校中针对国家职业标准重新修订的“电类人才培养”教学计划为基础，将职业标准融入到课程标准中，并力求使各课程的理论教学、实操训练与国家职业标准的应知、应会相衔接对应，力求做到毕业后零距离上岗。

电类人才的培养目标定位于培养具有良好思想品德和职业道德，具备较为坚实的文化基础知识和电专业基础知识，适应电气自动化行业发展的需要，从事电气控制设备和自动化设备的安装、调试与维护的高素质高技能专门人才。根据这一培养目标制订的教学计划，除了能够做到学历教育与职业资格标准的完全融合外，还具有一定的前瞻性、拓展性，既满足当前岗位要求，又体现未来岗位发展要求；既确保当前就业能力，又为学生后续可持续发展提供基础和保障；既包含职业资格证书的内容，又保证学历教育的教学内容；既符合教育部门对电气自动化技术毕业生的学历培养要求，又符合人力资源和社会保障部对维修电工（中高级）职业技能鉴定的要求。

本丛书推出7门“双证融通”课程，每门课程均有电子资源免费下载，它们分别是

- 1) 《电工电子技术简明教程》
- 2) 《数控机床电气控制简明教程》
- 3) 《AutoCAD 工程绘图简明教程》
- 4) 《电力电子技术简明教程》
- 5) 《三菱 PLC 应用简明教程》
- 6) 《西门子 PLC 应用简明教程》
- 7) 《变频器应用简明教程》

丛书特别感谢宁波市服务型教育重点专业建设项目（电子电气专业）的出版资助，同时也感谢机械工业出版社电工电子分社、浙江工商职业技术学院为丛书的策划与推广提供了必不可少的帮助。

李方国

2012年8月

前 言

数控机床是数字控制机床（Computer Numerical Control Machine Tools）的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。数控机床的电气部分是整个机床的核心，本书紧紧围绕低压电器、计算机数控（CNC）系统、主轴变频与伺服、进给步进与伺服、检测传感器和 PLC 等方面的内容，按照应知应会的岗位培训方式，不仅有详尽的理论知识，同时对每一个项目给出了具体的训练任务，可以让读者达到零距离上岗的目标。

本书共分 7 讲。第 1 讲为数控机床入门，主要介绍了数控机床的工作原理与特点和数控机床的编程基础，技能训练项目包括认识数控机床和读写简易数控代码；第 2 讲为机床低压电器，内容涵盖了低压电器常识、常用机床电气控制电路、常用低压电器的选择与应用以及机床电气控制系统的设计与调试；第 3 讲为数控系统，包括数控系统概述、FANUC 数控系统及其基本连接、西门子 802S/C/D 数控系统及基本连接，技能训练项目是两种类型数控系统基本参数的设置；第 4 讲为机床主轴的变频与伺服控制，从机床主轴的通用变频器控制到机床主轴的通用伺服控制、介绍了西门子公司、三菱公司通用变频器、FANUC 公司 0i 数控系统的主轴的安装与调试；第 5 讲为数控机床的进给控制，介绍了步进电动机及其控制、直流伺服及其控制、西门子 802C 进给轴等；第 6 讲为数控机床的位置检测，介绍了编码器与光栅、磁栅传感器、感应同步器与接近开关，还介绍了 FANUC 和西门子伺服电动机编码器的更换；第 7 讲为数控机床的 PLC 控制，从 PLC 的基本知识出发，重点讲解了 FANUC 数控的 PLC（PMC）编程基础和西门子 802C 的编程。

在编写过程中，我们得到了柳桂国博士的大力支持，为本书的第 6 讲提供了大量的技术资料，此外，西门子（中国）有限公司、北京 FANUC 机电有限公司、常州米高电子科技有限公司、宁波市江北数控设备厂等厂商相关人员也帮助提供了相当多的典型案例和维护经验。

本书在编写中曾参考和引用了国内外许多专家、学者最新发表的论文和著作等资料，杨帆、钟晓强、徐咏梅、陈亚玲、叶明、刘军毅、陈亚珠、沈阿宝、胡焕啸、方定桂、章富科、李伟庄、吴於等参与了资料整理、编写和校对工作，作者在此一并致谢。

作 者

2012 年 8 月 8 日

目 录

序

前言

第 1 讲 数控机床入门..... 1

1.1 数控机床的工作原理与特点..... 2

1.1.1 数控机床的基本知识和特点..... 2

1.1.2 数控车床概述..... 4

1.1.3 数控铣床概述..... 9

1.1.4 加工中心特点及组成..... 11

1.2 数控机床的编程基础..... 15

1.2.1 直径编程及坐标..... 15

1.2.2 数控编程与程序的构成..... 16

1.2.3 数控编程 G 指令..... 19

1.3 技能训练一：认识数控机床..... 28

1.3.1 数控机床各组成部分的识别..... 28

1.3.2 FANUC Oi Mate-TC 数控系统的熟悉..... 30

1.3.3 西门子 SINUMERIK 802S/C 操作 界面的熟悉..... 36

1.4 技能训练二：读写简易数控代码..... 40

思考与练习..... 41

第 2 讲 机床低压电器..... 43

2.1 低压电器常识..... 44

2.1.1 低压电器的基本知识..... 44

2.1.2 接触器..... 44

2.1.3 控制继电器..... 48

2.1.4 其他常用低压电器..... 54

2.2 常用机床电气控制电路..... 58

2.2.1 基本控制电路..... 58

2.2.2 设备的供电与接地..... 59

2.2.3 三相异步电动机正反转控制..... 61

2.2.4 三相异步电动机的顺序起动控制..... 64

2.2.5 三相异步电动机的起动控制电路..... 65

2.2.6 常用的制动控制电路..... 69

2.3 技能训练一：常用低压电器的选择与 应用..... 71

2.3.1 常用低压电器的认识及测试..... 71

2.3.2 常用低压电器的拆装..... 72

2.3.3 电气材料与电气元件的认识和选型..... 72

2.4 技能训练二：机床电气控制系统的设计 与调试..... 74

2.4.1 电气原理识图与制图..... 74

2.4.2 某数控车床部分电气原理图的阅 读分析..... 76

2.4.3 点动加连续运行电路安装与故障检修..... 78

2.4.4 双重联锁正反转控制电路安装与 故障检修..... 79

2.4.5 两台电动机顺序起动电路安装与 故障检修..... 79

2.4.6 自动往返控制电路安装与故障检修..... 80

2.4.7 Y- Δ 减压起动电路安装与故障检修..... 81

思考与练习..... 82

第 3 讲 数控系统..... 85

3.1 数控系统概述..... 86

3.1.1 数控机床的基本知识和特点..... 86

3.1.2 数控系统的分类..... 89

3.1.3 数控机床中伺服系统的控制方式..... 93

3.2 FANUC 数控系统及基本连接..... 96

3.2.1 概况..... 96

3.2.2 硬件安装和连接..... 96

3.3 西门子 802S/C/D 数控系统及基本连接..... 103

3.3.1 西门子 802 系列系统介绍..... 103

3.3.2 西门子 802 数控系统的技术特点..... 104

3.3.3 系统结构及接口..... 108

3.4 技能训练一：FANUC 数控系统基本 参数的设置..... 113

3.5 技能训练二：西门子 802S 数控系统的 初步调试..... 118

3.5.1 西门子 802S 数控系统的初始化..... 118

3.5.2 西门子 802S 数控系统的调试与 参数设置..... 120

思考与练习..... 126

第4讲 机床主轴的变频与伺服控制	128	第6讲 数控机床的位置检测	206
4.1 机床主轴的通用变频器控制.....	129	6.1 编码器与光栅、磁栅传感器.....	207
4.1.1 交流电动机的调速方式.....	129	6.1.1 机床数字式位置测量基本知识.....	207
4.1.2 变频调速原理.....	131	6.1.2 脉冲编码器及应用.....	208
4.1.3 通用变频器的构造.....	133	6.1.3 光栅传感器及应用.....	213
4.1.4 变频器的频率给定方式和运转 指令方式.....	135	6.1.4 磁栅传感器及应用.....	217
4.1.5 变频器矢量控制原理.....	137	6.2 感应同步器及应用.....	220
4.2 机床主轴的通用伺服控制.....	141	6.2.1 感应同步器及应用.....	220
4.2.1 交流伺服电动机的分类与特点.....	141	6.2.2 接近开关及应用.....	222
4.2.2 交流伺服电动机的矢量控制.....	142	6.3 技能训练一: FANUC 伺服电动机 编码器的更换.....	226
4.3 技能训练一: 西门子和三菱通用变频 器的安装与调试.....	144	6.4 技能训练二: 西门子伺服电动机 编码器的安装与调试.....	229
4.3.1 三菱 A700 系列变频器的安装与 调试.....	144	思考与练习.....	233
4.3.2 西门子 MM440 变频器的安装与 调试.....	155	第7讲 数控机床的 PLC 控制	236
4.4 技能训练二: FANUC Oi 数控系统的 主轴连接与调试.....	161	7.1 数控机床的 PLC 基本知识.....	237
思考与练习.....	169	7.1.1 PLC 的进化与定义.....	237
第5讲 数控机床的进给控制	171	7.1.2 PLC 的组成部分.....	238
5.1 步进电动机及控制.....	172	7.1.3 PLC 实现控制的过程.....	241
5.1.1 步进电动机的工作原理.....	172	7.1.4 用户程序.....	243
5.1.2 步进电动机的主要特性.....	174	7.1.5 PLC 的基本特点.....	243
5.1.3 步进电动机的分类.....	175	7.1.6 数控机床 PLC 的应用.....	246
5.1.4 步进电动机的环形分配器.....	177	7.2 FANUC 数控的 PLC (PMC) 编程基础.....	248
5.1.5 功率放大电路.....	178	7.2.1 入门知识.....	248
5.2 直流伺服及控制.....	181	7.2.2 PMC 顺序程序的执行.....	249
5.2.1 直流伺服电动机的结构与分类.....	181	7.2.3 PMC 语言及编程.....	249
5.2.2 直流伺服电动机的调速原理与 方法.....	182	7.2.4 PMC 基本指令.....	251
5.2.3 直流伺服电动机速度控制单元的 调速控制方式.....	183	7.2.5 PMC 功能指令表.....	252
5.3 技能训练一: 西门子 802C 进给轴电气 系统接线与配置.....	186	7.2.6 PMC 功能指令举例.....	253
5.4 技能训练二: 西门子 802C 进给轴伺服 的优化.....	201	7.3 技能训练一: FANUC PMC 的编程.....	258
思考与练习.....	204	7.3.1 PMC 的基本操作.....	258
		7.3.2 PMC 控制逻辑分析.....	262
		7.4 技能训练二: 西门子 802C 的编程.....	266
		7.4.1 正确安装“Programming Tool PLC802”和基本操作.....	266
		7.4.2 电动机Y- Δ 起动案例.....	270
		7.4.3 编制并调用 EMG_STOP 子程序案例.....	273
		思考与练习.....	277
		参考文献	279

第 1 讲 数控机床入门

【导读】

数控机床是计算机数字控制机床（Computer Numerical Control Machine Tools）的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。与普通机床相比，数控机床具有对加工对象的适应性强、加工精度高、能加工形状复杂的零件、自动化程度高等特点。



应
知

- ※ 了解数控机床的基本知识和特点
- ※ 熟悉数控机床的坐标系
- ※ 掌握数控编程的基本格式
- ※ 掌握数控编程中与电气相关的参数设置

- ☆ 能对数控机床各组成部分进行识别
- ☆ 能识别 FANUC 0i Mate-TC 数控系统的操作面板
- ☆ 能识别西门子 SINUMERIK 802S/C 操作界面
- ☆ 能用 G 代码进行数控简单编程



应
会

1.1 数控机床的工作原理与特点

1.1.1 数控机床的基本知识和特点

1. 数控机床的概念

数控机床是数字控制机床（Computer Numerical Control Machine Tools）的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床（见图 1-1）。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序，并将其译码，从而使机床动作并加工零件。



图 1-1 数控机床

2. 数控机床工作原理

数控系统根据输入的程序进行计算，控制机床、刀具选择等运动，给伺服系统发出控制命令，伺服系统根据指令要求控制执行部件，使各装置按照数控程序给定的顺序、轨迹和参数进行工作，从而加工出符合要求的零件。数控机床加工过程如图 1-2 所示。

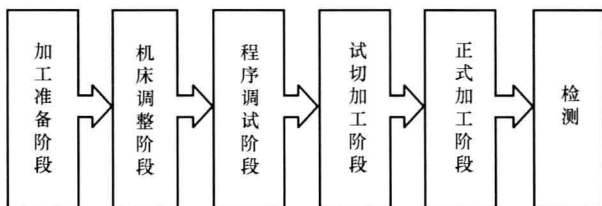


图 1-2 数控机床的加工过程

3. 数控机床的性能指标

(1) 精度指标

定位精度：机床主要部件在运动终点所达到的实际位置的精度。实际位置与预期位置之间的误差称为定位误差。

重复定位精度：指机床主要部件在多次（五次以上）运动到同一终点所达到的实际位置之间的最大误差。

脉冲当量：一个指令脉冲机床运动轴的位移量。

(2) 坐标轴指标

可控轴数：指机床能控制的运动轴数。

联动轴数：机床可控轴中能同时联合运动的轴数。

如数控铣床，机床可控轴数为 X 、 Y 、 Z 三轴，如果这三轴都可同时联动，则该机床为三轴联动数控铣床，如果只有 X 、 Y 两轴能同时联动， Z 轴不可与 X 、 Y 联动，则该机床称为 2.5 轴或者二轴半数控铣床。

(3) 运动性能指标

运动性能指标有主轴转速、进给速度、行程、换刀时间等。

(4) 加工能力指标

加工能力指标指每分钟最大金属切除率。

4. 数控机床的坐标系

在数控编程时，为了描述机床的运动，简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性，数控机床的坐标系和运动方向均已标准化，ISO 841-2001 拟定了命名的标准。

(1) 机床相对运动的规定

在机床上，我们始终认为工件静止，而刀具是运动的。这样编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下，就可以依据零件图样，确定机床的加工过程。

(2) 机床坐标系的规定

标准机床坐标系中 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡尔直角坐标系决定。在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定数控机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的位移和运动的方向，这就需要通过坐标系来实现，这个坐标系被称之为机床坐标系。

(3) 坐标系的确定方法

假定刀具相对于固定的工件运动，采用右手笛卡儿坐标系，大拇指的指向为 X 坐标的正向，食指的指向为 Y 坐标的正方向，中指的指向为 Z 坐标的正方向。坐标轴分为直线坐标 X 、 Y 、 Z ，旋转坐标 A 、 B 、 C ，附加坐标 U 、 V 、 W 。坐标系确定顺序： $Z-X-Y$ ，坐标系的方向以增大工件和刀具之间距离的方向为运动的正方向。图 1-3 所示为右手笛卡儿坐标系，图 1-4 所示为数控机床坐标系。

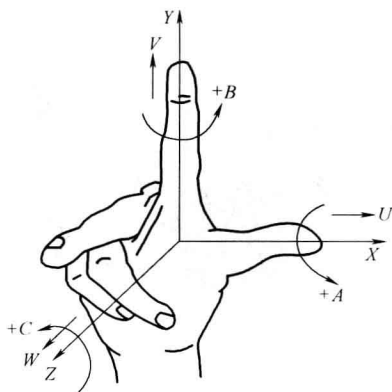


图 1-3 右手笛卡儿坐标系

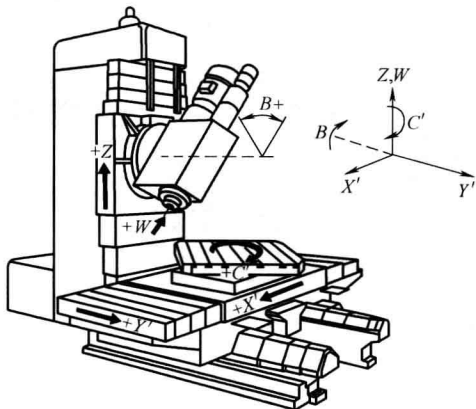


图 1-4 数控机床坐标系

5. 机床参考点与原点

(1) 机床参考点 (Reference Point, R)

用行程开关设置的一个物理位置,与机床原点的相对位置是固定的,机床出厂之前由机床制造商精密测量确定,一般来说,加工中心的参考点为机床的自动换刀位置。

(2) 机床原点 (Machine Origin, M/home position)

过已知机床参考点,系统设置的参考点与机床参考点的关系可以确定一个固定的机床原点,它是建立测量机床运动坐标的起始点,也称为机床零点。

(3) 工件原点 (Part Origin)

程序员在数控编程过程中定义在工件上的几何基准点,以工件原点为坐标原点建立起来的直角坐标系称为工件坐标系。工件原点又称为程序原点。

(4) 装夹原点 (Fixture Origin)

又称卡盘零点,可以与工件原点重合。

1.1.2 数控车床概述

数控车床的外形与普通车床相似,即由床身、主轴箱、刀架、进给系统压系统、冷却和润滑系统等部分组成。数控车床的进给系统与普通车床有质的区别,传统普通车床有进给箱和交换齿轮架,而数控车床是直接用伺服电动机通过滚珠丝杠驱动溜板和刀架实现进给运动,因而进给系统的结构大为简化。

1. 数控车床的分类

数控车床品种繁多,规格不一,可按如下方法进行分类。

(1) 按车床主轴位置分类 (见图 1-5)

1) 卧式数控车床。卧式数控车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床。其倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性,并易于排除切屑。

2) 立式数控车床。立式数控车床简称为数控立车,其车床主轴垂直于水平面,一个直径很大的圆形工作台,用来装夹工件。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

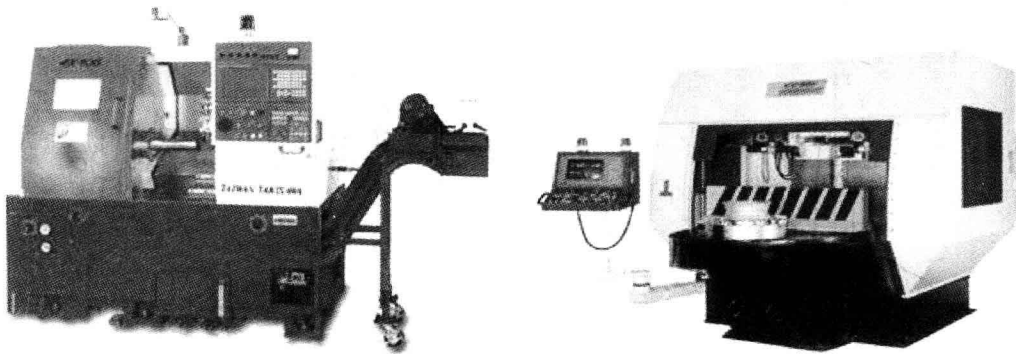


图 1-5 卧式数控车床和立式数控车床

(2) 按刀架数量分类 (见图 1-6)

1) 单刀架数控车床。数控车床一般都配置有各种形式的单刀架,如四工位卧动转位刀

架或多工位转塔式自动转位刀架。

2) 双刀架数控车床。这类车床的双刀架配置平行分布,也可以是相互垂直分布。

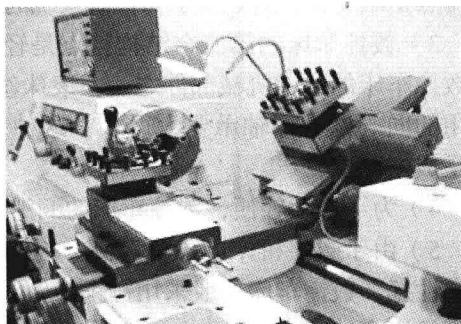
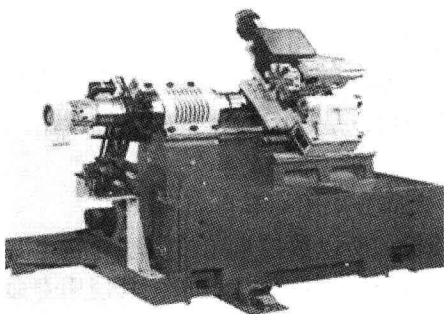


图 1-6 单刀架数控车床和双刀架数控车床

(3) 按功能分类(见图 1-7)

1) 经济型数控车床。采用步进电动机和单片机对普通车床的进给系统进行改造后形成的简易型数控车床,成本较低,但自动化程度和功能都比较差,车削加工精度也不高,适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

2) 普通数控车床。根据车削加工要求在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床,数控系统功能强,自动化程度和加工精度也比较高,适用于一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴,即 X 轴和 Z 轴。



图 1-7 经济型数控车床和普通数控车床

3) 车削加工中心。在普通数控车床的基础上,增加了 C 轴和动力头,更高级的数控车床带有刀库,可控制 X 、 Z 和 C 三个坐标轴,联动控制轴可以是 $(X、Z)$ 、 $(X、C)$ 或 $(Z、C)$ 。由于增加了 C 轴和铣削动力头,这种数控车床的加工功能大大增强,除可以进行一般车削外可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削等加工。

2. 数控车床的结构特点

与传统车床相比,数控车床的结构有以下特点:

1) 由于数控车床刀架的两个方向运动分别由两台伺服电动机驱动,所以它的传动链短。不必使用挂轮、光杠等传动部件,用伺服电动机直接与丝杠联结带动刀架运动。伺服电动机丝杠间也可以用同步皮带副或齿轮副联结。

2) 多功能数控车床是采用直流或交流主轴控制单元来驱动主轴,按控制指令做无级变速,

主轴之间不必用多级齿轮副来进行变速。为扩大变速范围,现在一般还要通过一级齿轮副,以实现分段无级调速,即使这样,床头箱内的结构已比传统车床简单得多。数控车床的另一个结构特点是刚度大,这是为了与控制系统的高精度控制相匹配,以便适应高精度的加工。

3) 数控车床的第三个结构特点是轻拖动。刀架移动一般采用滚珠丝杠副。滚珠丝杠副是数控车床的关键机械部件之一,滚珠丝杠两端安装的滚动轴承是专用轴承,它的压力角比常用的向心推力球轴承要大得多。这种专用轴承配对安装,是选配的,最好在轴承出厂时就是成对的。

4) 为了拖动轻便,数控车床的润滑都比较充分,大部分采用油雾自动润滑。

5) 由于数控机床的价格较高、控制系统的寿命较长,所以数控车床的滑动导轨也要求耐磨性好。数控车床一般采用镶钢导轨,这样机床精度保持的时间就比较长,其使用寿命也可延长许多。

6) 数控车床还具有加工冷却充分、防护较严密等特点,自动运转时一般都处于全封闭或半封闭状态。

7) 数控车床一般还配有自动排屑装置。

3. 数控车床的布局

典型数控车床的机械结构系统组成,包括主轴传动机构、进给传动机构、刀架、床身、辅助装置(刀具自动交换机构、润滑与切削液装置、排屑、过载限位)等部分。

数控车床床身导轨与水平面的相对位置图如图 1-8 所示,它有 4 种布局形式,如图 1-8 所示。

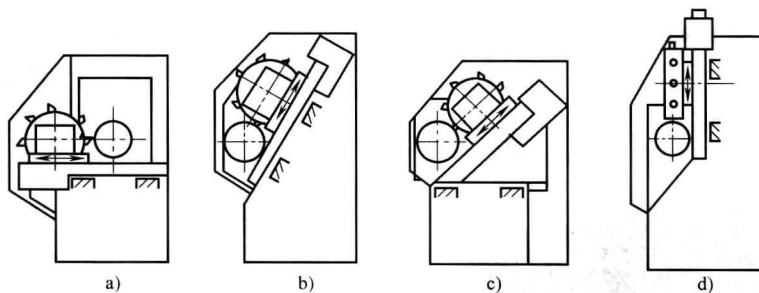


图 1-8 数控车床床身导轨与水平面的相对位置图

a) 平床身 b) 斜床身 c) 平床身斜滑板 d) 立床身

水平床身的工艺性好,便于导轨面的加工。水平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度,一般可用于大型数控车床或小型精密数控车床的布局。但是水平床身由于下部空间小,故排屑困难。从结构尺寸上看,刀架水平放置使得滑板横向尺寸较长,从而加大了机床宽度方向的结构尺寸(见图 1-9)。

水平床身配置倾斜放置的滑板,并配置倾斜式导轨防护罩,这种布局形式一方面有水平床身工艺特性好的特点,另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的要小,且排屑方便。水平床身配上倾斜放置的滑板和斜床身配置斜滑板布局形式被中、小型数控车床所普遍采用。此两种布局形式的特点是排屑容易,热铁屑不会堆积在导轨上,也便于安装自动排屑器;操作方便,易于安装机械手,以实现单机自动化;机床占地面积小,外形简单、美观,容易实现封闭式防护。

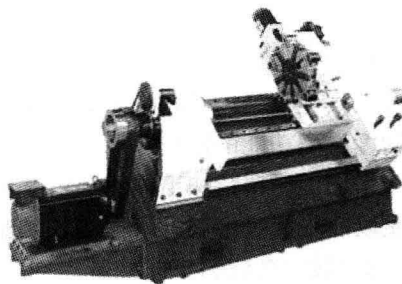


图 1-9 数控车床水平床身和倾斜床身

斜床身其导轨倾斜的角度分别为 30° 、 45° 、 60° 、 75° 和 90° （称为立式床身），若倾斜角度小，排屑不便；若倾斜角度大，导轨的导向性差，受力情况也差。导轨倾斜角度的大小还会直接影响机床外形尺寸高度与宽度的比例。综合考虑上面的因素，中小规格的数控车床其床身的倾斜度以 60° 为宜。

4. 数控车床的加工对象

与传统车床相比，数控车床比较适合于车削具有以下要求和特点的回转体零件。

（1）精度要求高的零件

由于数控车床的刚性好，制造和对刀精度高，以及能方便和精确地进行人工补偿甚至自动补偿，所以它能够加工尺寸精度要求高的零件。在有些场合可以以车代磨。此外，由于数控车削时刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的，再加上机床的刚性好和制造精度高，所以它能加工对母线直线度、圆度、圆柱度要求高的零件。

（2）表面粗糙度好的回转体零件

数控车床能加工出表面粗糙度小的零件，不但是因为机床的刚性好和制造精度高，还由于它具有恒线速度切削功能。在材质、精车留量和刀具已定的情况下，表面粗糙度取决于进给速度和切削速度。使用数控车床的恒线速度切削功能，就可选用最佳线速度来切削端面，这样切出的粗糙度既小又一致。数控车床还适合于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件。粗糙度小的部位可以用减小进给速度的方法来达到，而这在传统车床上是做不到的。

（3）轮廓形状复杂的零件

数控车床具有圆弧插补功能，所以可直接使用圆弧指令来加工圆弧轮廓。数控车床也可加工由任意平面曲线所组成的轮廓回转零件，既能加工可用方程描述的曲线，也能加工列表曲线。如果说车削圆柱零件和圆锥零件既可选用传统车床也可选用数控车床，那么车削复杂转体零件就只能使用数控车床。

（4）带一些特殊类型螺纹的零件

传统车床所能切削的螺纹相当有限，它只能加工等节距的直、锥面公、英制螺纹，而且一台车床只限定加工若干种节距。数控车床不但能加工任何等节距直、锥面，公、英制和端面螺纹，而且能加工增节距、减节距，以及要求等节距、变节距之间平滑过渡的螺纹。数控车床加工螺纹时主轴转向不必像传统车床那样交替变换，它可以一刀又一刀不停顿地循环，直至完成，所以它车削螺纹的效率很高。数控车床还配有精密螺纹切削功能，再加上一一般采用硬质合金成型刀片，以及可以使用较高的转速，所以车削出来的螺纹精度高、表面粗糙度小。可以说，包括丝杠在内的螺纹零件很适合于在数控车床上加工。

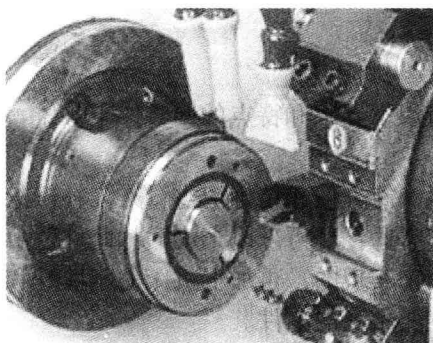
(5) 超精密、超低表面粗糙度的零件

磁盘、录像机磁头、激光打印机的多面反射体、复印机的回转鼓、照相机等光学设备的透镜及其模具,以及隐形眼镜等要求超高的轮廓精度和超低的表面粗糙度值,它们适合于在高精度、高功能的数控车床上加工。以往很难加工的塑料散光用的透镜,现在也可以用数控车床来加工。超精加工的轮廓精度可达到 $0.1\mu\text{m}$,表面粗糙度可达 $0.02\mu\text{m}$ 。超精车削零件的材质以前主要是金属,现已扩大到塑料和陶瓷。

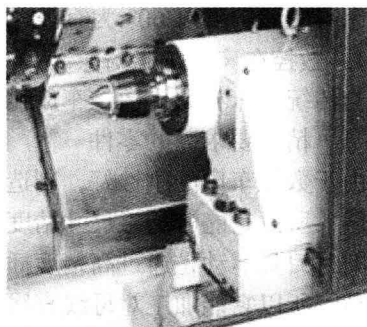
5. 数控车床的工艺装备

(1) 数控车床的卡盘

图 1-10a 所示为液压卡盘,它是数控车削加工时夹紧工件的重要附件,对一般回转类零件可采用普通液压卡盘;对零件被夹持部位不是圆柱形的零件,则需要采用专用卡盘;用棒料直接加工零件时需要采用弹簧卡盘。



a)



b)

图 1-10 弹簧夹头卡盘和可编程序控制液压尾座

(2) 数控车床的尾座

对轴向尺寸和径向尺寸的比值较大的零件,需要采用安装在液压尾座(见图 1-10b)上的活顶尖对零件尾端进行支撑,才能保证对零件进行正确的加工。尾座有普通液压尾座和可编程液压尾座。

(3) 数控车床的刀架

刀架是数控车床非常重要的部件。数控车床根据其功能,刀架上可安装的刀具数量一般为 8 把、10 把、12 把或 16 把,有些数控车床可以安装更多的刀具。

刀架的结构形式一般为回转式(见图 1-11),刀具沿圆周方向安装在刀架上,可以安装径向车刀、轴向车刀、钻头、镗刀。车削加工中心还可安装轴向铣刀、径向铣刀。少数数控车床的刀架为直排式,刀具沿一条直线安装。

数控车床可以配备两种刀架:

1) 专用刀架:由车床生产厂商自己开发,所使用的刀柄也是专用的。这种刀架的优点是制造成本低,但缺乏通用性。

2) 通用刀架:根据一定的通用标准而生产的刀架,数控车床生产厂商可以根据数控车床的功能要求进行选择配置。

(4) 数控车床的铣削动力头

数控车床刀架上安装铣削动力头可以大大扩展数控车床的加工能力。

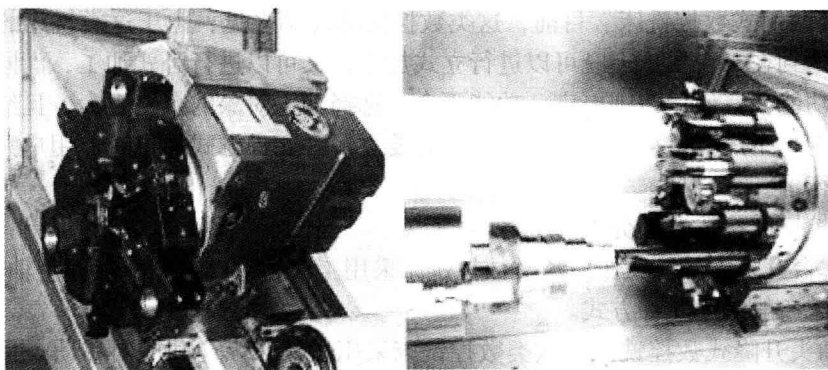


图 1-11 数控车床的刀架

1.1.3 数控铣床概述

数控铣床是一种加工功能很强的数控机床，目前迅速发展起来的加工中心、柔性加工单元等都是在数控铣床、数控镗床的基础上产生的，两者都离不开铣削方式。由于数控铣削工艺最复杂，需要解决的技术问题也最多，因此，人们在研究和开发数控系统及自动编程语言的软件系统时，也一直把铣削加工作为重点。

1. 数控铣床的分类

(1) 按主轴的位置分类（见图 1-12）

1) 数控立式铣床。数控立式铣床在数量上一直占据数控铣床的大多数，应用范围也最广。从机床数控系统控制的坐标数量来看，目前 3 坐标数控立铣仍占大多数；一般可进行 3 坐标联动加工，但也有部分机床只能进行 3 个坐标中的任意两个坐标联动加工（常称为 2.5 坐标加工）。此外，还有机床主轴可以绕 X 、 Y 、 Z 坐标轴中的其中一个或两个轴做数控摆角运动的 4 坐标和 5 坐标数控立铣。



图 1-12 立式、卧式、立卧两用式数控铣床

2) 卧式数控铣床。与通用卧式铣床相同，其主轴轴线平行于水平面。为了扩大加工范围和扩充功能，卧式数控铣床通常采用增加数控转盘或万能数控转盘来实现 4、5 坐标加工。这样，不但工件侧面上的连续回转轮廓可以加工出来，而且可以实现在一次安装中，通过转盘改变工位，进行“四面加工”。

3) 立卧两用式数控铣床。目前, 这类数控铣床已不多见, 由于这类铣床的主轴方向可以更换, 能达到在一台机床上既可以进行立式加工, 又可以进行卧式加工, 而同时具备上述两类机床的功能, 其使用范围更广, 功能更全, 选择加工对象的余地更大, 且给用户带来不少方便。特别是生产批量小, 品种较多, 又需要立、卧两种方式加工时, 用户只需买一台这样的机床就行了。

(2) 数控铣床按构造上分类

1) 工作台升降式数控铣床。这类数控铣床采用工作台移动、升降, 而主轴不动的方式。小型数控铣床一般采用此种方式。

2) 主轴头升降式数控铣床。这类数控铣床采用工作台纵向和横向移动, 且主轴沿垂向溜板上下运动; 主轴头升降式数控铣床在精度保持、承载重量、系统构成等方面具有很多优点, 已成为数控铣床的主流。

3) 龙门式数控铣床。这类数控铣床主轴可以在龙门架的横向与垂向溜板上运动, 而龙门架则沿床身做纵向运动。大型数控铣床, 因要考虑到扩大行程, 缩小占地面积及刚性等技术上的问题, 往往采用龙门架移动式。

2. 数控铣床的结构

图 1-13 所示为数控铣床机械结构, 除铣床基础部件外, 由下列各部分组成:

- 1) 主传动系统;
- 2) 进给系统;
- 3) 实现工件回转、定位装置和附件;
- 4) 实现某些部件动作和辅助功能的系统和装置, 如液压、气动、润滑、冷却等系统和排屑、防护等装置。

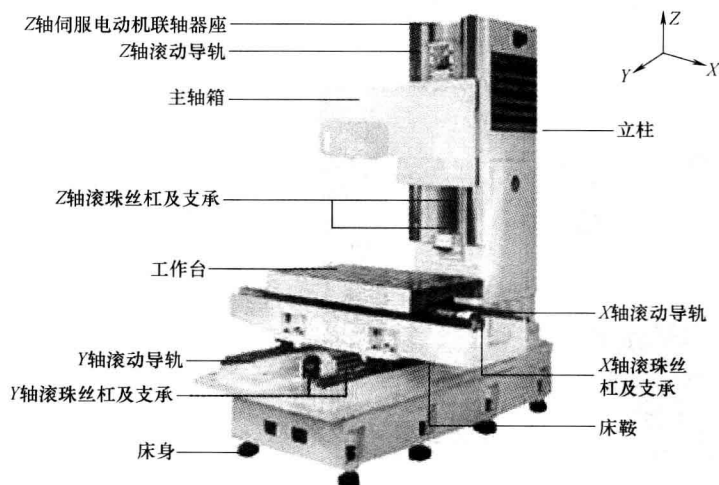


图 1-13 数控铣床的机械结构

铣床基础件称为铣床大件, 通常是指床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台等。它是整台铣床的基础和框架。铣床的其他零部件, 或者固定在基础件上, 或者工作时在它的导轨上运动。其他机械结构的组成则按铣床的功能需要选用。