

## 华腾魔眼(AR)使用说明

华腾魔眼是华腾教育基于增强现实技术(AR)自主研发的一款实用型教学软件。手机安装魔眼App后,扫描相关教材页面图像,平面图形的三维建模效果即刻呈现,可通过操作手机屏幕,实现模型的缩放、旋转和拆分功能,让学习活动起来!



### 魔眼App使用方法

1. 打开魔眼App,进入App主界面。
2. 点击“进入书架”,选择所需教材,App将自动下载该教材的三维建模数据。



3. 将手机摄像头对准纸质教材相应图片(带有AR标记),即可在手机屏幕上得到平面图形的立体重塑。双击模型,拆分合并;两指操作,缩小放大;单指拖动,随意旋转,充分体验增强现实技术的魅力。



### 魔眼App安装过程

- Android系统可通过在应用宝中搜索“魔眼华腾教育”进入下载,或扫描教材封底二维码直接下载。
- IOS系统可通过在App Store中搜索“魔眼华腾教育”进入下载,或扫描教材封底二维码直接下载。



定价: 49.80元

「十三五」高等职业教育数控技术系列规划教材

数控车床编程与操作

北京邮电大学出版社



“十三五”高等职业教育数控技术系列规划教材  
“互联网+”创新型教材

**AR** (增强现实)

# 数控车床编程与操作

夏长富 李国诚 主编

SHUKONG CHECHUANG BIANCHENG YU CAOZUO

将“互联网+”思维融入教材中

纸质教材与数字资源有机整合

通过扫描书中标识图片呈现

采用AR技术打造最强立体化教材

“十三五”高等职业教育数控技术系列规划教材

 “互联网+”创新型教材

# 数控车床编程 与操作



夏长富 李国诚 主 编  
曹会朝 崔玉珍 副主编  
初 阳 王 俊  
闫 杰

SHUKONG CHECHUANG BIANCHENG YU CAOZUO



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

## 内 容 简 介

本书的编写以中、高等职业技术人才培养目标为依据,结合专业职业技能鉴定和企业对高技能人才要求,注重教材的基础性、综合性、实践性、科学性、先进性和通用性,融理论教学、实践技能训练、软件操作为一体。

本书以项目引领,以工作任务驱动过程为导向,按照数控加工职业岗位的工作内容及工作过程,参照数控车工国家职业资格标准,对应职业岗位核心能力的需要和未来前沿技术的发展设置了基础篇、编程篇、操作篇和软件篇共计 18 个项目、32 个任务,包括:数控工艺、工艺识图、数控编程、数控机床操作、数控加工实践等综合知识内容,对国产华中系统、日本 FANUC 系统和德国 SINUMERIK 系统的编程与机床操作都有详细的介绍和讲解。

本书按照国家职业标准进行数控车中级工、高级工等工种的技能强化训练,较好地满足了企业对数控加工一线人员的职业素质需要。本书可作为技工类院校,中、高职数控相关专业的教材,也可供相关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控车床编程与操作/夏长富,李国诚主编. —北京:  
北京邮电大学出版社,2013.8(2018.9重印)

ISBN 978-7-5635-3623-8

I. ①数… II. ①夏… ②李… III. ①数控机床—车  
床—程序设计—专业学校—教材②数控机床—车床—操作—  
专业学校—教材 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 179701 号

---

书 名: 数控车床编程与操作

主 编: 夏长富 李国诚

责任编辑: 李路艳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市东兴印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 20.25

字 数: 493 千字

版 次: 2013 年 8 月第 1 版 2018 年 9 月第 4 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-3623-8

定 价: 49.80 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话:400-615-1233

## 目 录

## 第一篇 基础篇

## 项目一 数控机床的产生与组成 ..... 3

## 任务一 数控机床的产生与发展 ..... 3

- 一、数控技术的产生与发展 ..... 3
- 二、数控机床发展的历史阶段 ..... 4
- 三、我国数控技术的发展 ..... 4

## 任务二 数控机床的组成与分类 ..... 5

- 一、数控机床的组成及各部分的功能 ..... 5
- 二、数控机床的分类 ..... 8

任务三 数控机床的加工特点和  
发展方向 ..... 11

- 一、数控机床的加工特点 ..... 11
- 二、数控机床的发展方向 ..... 11

项目二 数控车床刀具的选择与  
使用 ..... 14

## 任务一 刀具的选择与安装 ..... 14

- 一、车刀的种类和用途 ..... 14
- 二、车刀的几何角度 ..... 15
- 三、车刀的安装 ..... 16

## 任务二 刀具刃磨 ..... 17

- 一、刀具刃磨步骤 ..... 17
- 二、刀具刃磨注意事项 ..... 18

## 项目三 数控车床量具与夹具 ..... 19

## 任务一 数控车床量具的选择与使用 ..... 19

- 一、游标卡尺 ..... 19
- 二、深度游标尺 ..... 23

三、高度游标尺 ..... 23

四、万能角度尺 ..... 24

五、百分尺 ..... 24

六、百分表 ..... 26

七、塞规与卡规 ..... 28

八、量具的维护和保养 ..... 29

任务二 数控车床夹具的选择与  
使用 ..... 30

一、三爪卡盘 ..... 30

二、四爪卡盘 ..... 30

三、顶尖 ..... 30

三、心轴 ..... 31

五、工件在花盘上的安装 ..... 32

六、中心架和跟刀架 ..... 32

## 第二篇 编程篇

## 项目四 常用指令的编程与应用 ..... 37

## 任务一 华中系统常用指令 ..... 37

一、快速定位 G00 ..... 37

二、直线插补指令 G01 ..... 38

三、圆弧插补指令 G02/G03 ..... 38

四、倒直角和倒圆角指令 ..... 38

五、螺纹切削指令 G32 ..... 39

## 任务二 FANUC 系统常用指令 ..... 40

一、常用指令详解 ..... 40

二、常用指令综合应用 ..... 44

任务三 SINUMERIK 802D  
系统常用指令 ..... 46

一、SINUMERIK 802D

系统常用 G 指令 ..... 46

二、SINUMERIK 802D 系统常用 M 指令 .....	48
<b>项目五 循环指令的编程与应用 .....</b>	<b>49</b>
<b>任务一 华中系统循环指令 .....</b>	<b>49</b>
一、内、外径切削循环指令 G80 .....	49
二、端面切削循环指令 G81 .....	50
三、螺纹切削循环指令 G82 .....	51
四、复合循环 .....	52
<b>任务二 FANUC 系统循环指令 .....</b>	<b>56</b>
一、内、外径切削循环指令 G90 .....	56
二、端面切削循环指令 G94 .....	56
三、螺纹切削循环指令 G92 .....	57
四、外圆粗加工(复合固定)循环 指令 G71 .....	58
五、精加工循环指令 G70 .....	59
六、外圆粗加工(复合固定)循环 指令 G72 .....	59
七、封闭切削循环指令 G73 .....	60
八、端面深孔切削循环指令 G74 .....	61
九、径向切槽复合循环指令 G75 .....	61
十、螺纹切削复合循环指令 G76 .....	62
<b>任务三 SINUMERIK 802D 系统         循环指令 .....</b>	<b>62</b>
一、SINUMERIK 802D 系统 孔加工循环指令 .....	63
二、SINUMERIK 802D 系统 槽加工循环指令 .....	65
三、SINUMERIK 802D 系统 退刀槽形状加工循环指令 .....	66
四、SINUMERIK 802D 系统 毛坯切削循环指令 .....	66
五、SINUMERIK 802D 系统 螺纹切削循环指令 .....	67
<b>项目六 变量编程与应用 .....</b>	<b>68</b>
<b>任务一 FANUC 系统变量编程 .....</b>	<b>68</b>
一、变量的定义 .....	68
二、变量的运算 .....	70
三、宏程序结构 .....	72
四、宏程序的调用与返回 .....	73

五、宏程序应用举例 .....	74
六、公式曲线零件加工 .....	75
<b>任务二 SINUMERIK 802D 系统变量         编程 .....</b>	<b>76</b>
一、计算参数 R .....	76
二、标记符——程序跳转目标 .....	77
三、绝对跳转 .....	77
四、有条件跳转 .....	78
五、子程序应用 .....	78
六、R 参数编程实际应用 .....	79
七、程序举例 .....	80

## 第三篇 操作篇

<b>项目七 数控车床常用数控系统     操作 .....</b>	<b>85</b>
<b>任务一 华中系统的基本操作 .....</b>	<b>85</b>
一、机床操作 .....	85
二、操作面板各功能键的作用 .....	86
三、面板手动操作键的使用 .....	88
四、手动数据输入的面板操作 .....	91
五、对刀操作 .....	91
六、自动加工 .....	93
<b>任务二 FANUC 系统的基本操作 .....</b>	<b>95</b>
一、FANUC-0i 机床操作面板及功 能键 .....	95
二、FANUC-0i 机床系统面板及功 能键 .....	96
三、机床手动操作 .....	97
四、程序操作 .....	98
五、MDI 手动数据输入 .....	100
六、输入刀具补偿参数 .....	101
<b>任务三 SINUMERIK 802D 系统的基本         操作 .....</b>	<b>102</b>
一、SINUMERIK 802D 面板 介绍 .....	103
二、机床操作 .....	105
<b>项目八 阶梯轴零件加工 .....</b>	<b>109</b>
<b>项目知识 .....</b>	<b>110</b>
一、阶梯轴零件图分析 .....	110

二、阶梯轴零件图的工艺分析 .....	111	四、自动加工与质量控制 .....	151
三、阶梯轴零件的数值计算 .....	114	五、零件检测与评分标准 .....	151
四、阶梯轴零件的加工程序 .....	114	六、操作注意事项 .....	152
项目实践 .....	117	项目训练 .....	152
一、加工准备 .....	117	项目拓展 .....	153
二、程序输入与校验 .....	117	项目思考 .....	155
三、对刀 .....	118		
四、自动加工与质量控制 .....	120		
五、零件检测与评分标准 .....	121		
六、操作注意事项 .....	121		
项目训练 .....	122		
项目拓展 .....	122		
项目思考 .....	129		
<b>项目九 圆锥面零件加工 .....</b>	<b>130</b>		
项目知识 .....	131		
一、圆锥面零件识图分析 .....	131		
二、圆锥面零件的工艺分析 .....	131		
三、圆锥面零件的数值计算 .....	134		
四、圆锥面零件的加工程序 .....	135		
项目实践 .....	137		
一、加工准备 .....	137		
二、程序输入与校验 .....	138		
三、对刀 .....	138		
四、自动加工与质量控制 .....	140		
五、零件检测与评分标准 .....	140		
六、操作注意事项 .....	140		
项目训练 .....	141		
项目拓展 .....	141		
项目思考 .....	142		
<b>项目十 圆弧面零件加工 .....</b>	<b>143</b>		
项目知识 .....	144		
一、圆弧轴零件的识图分析 .....	144		
二、圆弧轴零件的工艺分析 .....	144		
三、数值计算 .....	148		
四、加工程序 .....	149		
项目实践 .....	151		
一、加工准备 .....	151		
二、程序输入与校验 .....	151		
三、对刀 .....	151		
四、自动加工与质量控制 .....	151		
五、零件检测与评分标准 .....	151		
六、操作注意事项 .....	152		
项目训练 .....	152		
项目拓展 .....	153		
项目思考 .....	155		
<b>项目十一 外径槽与端面槽零件加工 .....</b>	<b>156</b>		
项目知识 .....	157		
一、槽类零件的识图分析 .....	157		
二、槽类零件的工艺分析 .....	157		
项目实践 .....	162		
一、加工准备 .....	162		
二、程序输入与校验 .....	162		
三、对刀 .....	163		
四、自动加工与质量控制 .....	163		
五、零件检测与评分标准 .....	163		
六、操作注意事项 .....	164		
项目训练 .....	164		
项目拓展 .....	165		
项目思考 .....	165		
<b>项目十二 综合零件加工 .....</b>	<b>166</b>		
项目知识 .....	167		
一、复合轴零件的识图分析 .....	167		
二、复合轴零件的工艺分析 .....	167		
三、数控加工程序单 .....	169		
项目实践 .....	171		
一、加工准备 .....	171		
二、程序输入与校验 .....	171		
三、对刀 .....	171		
四、自动加工与质量控制 .....	171		
五、零件检测与评分标准 .....	171		
六、操作注意事项 .....	172		
项目训练 .....	172		
项目拓展 .....	173		
一、特殊梯形槽和圆弧槽的加工 .....	173		
二、内孔车刀的应用 .....	173		
三、圆弧成型车刀的应用 .....	174		
项目思考 .....	174		

**项目十三 套类零件加工** ..... 175

项目知识 ..... 176

一、通孔套零件的识图分析 ..... 176

二、通孔套零件的工艺分析 ..... 176

三、数控加工程序单 ..... 179

四、编程知识 ..... 180

项目实践 ..... 181

一、加工准备 ..... 181

二、程序的编辑、输入与校验 ..... 181

三、对刀 ..... 181

四、自动加工与质量控制 ..... 182

五、零件检测与评分标准 ..... 182

六、操作注意事项 ..... 182

项目训练 ..... 183

项目拓展 ..... 183

项目思考 ..... 187

**项目十四 组合体零件加工** ..... 188

项目知识 ..... 196

一、件1任务知识 ..... 196

二、件2任务知识 ..... 202

三、件3任务知识 ..... 209

四、件4任务知识 ..... 212

五、件5任务知识 ..... 219

六、件6任务知识 ..... 223

项目实践 ..... 226

一、加工准备 ..... 226

二、程序输入与校验 ..... 226

三、对刀 ..... 227

四、自动加工与质量控制 ..... 229

五、零件检测与评分标准 ..... 229

六、操作注意事项 ..... 230

项目训练 ..... 230

项目拓展 ..... 232

项目思考 ..... 234

**第四篇 软件篇**

**项目十五 外轮廓仿真加工** ..... 237

任务一 外轮廓粗加工 ..... 237

一、外圆轮廓粗车的参数介绍 ..... 237

二、加工实例 ..... 242

任务二 外轮廓精加工 ..... 247

一、外轮廓精加工的参数介绍 ..... 247

二、加工实例 ..... 251

**项目十六 内轮廓仿真加工** ..... 253

任务一 内轮廓粗加工 ..... 253

一、操作过程 ..... 253

二、内轮廓粗加工实例 ..... 253

任务二 内轮廓精加工 ..... 259

一、操作过程 ..... 259

二、内轮廓精加工实例 ..... 259

**项目十七 内外槽仿真加工** ..... 263

任务一 外槽加工 ..... 263

一、操作过程 ..... 263

二、参数说明 ..... 264

三、外槽加工实例 ..... 265

任务二 内槽加工 ..... 269

一、操作过程 ..... 269

二、内槽加工实例 ..... 269

**项目十八 螺纹仿真加工** ..... 273

任务一 车螺纹 ..... 273

一、操作过程 ..... 273

二、参数说明 ..... 274

三、车螺纹加工实例 ..... 278

任务二 螺纹固定循环 ..... 283

一、操作过程 ..... 283

二、螺纹固定循环加工实例 ..... 283

**附录** ..... 288

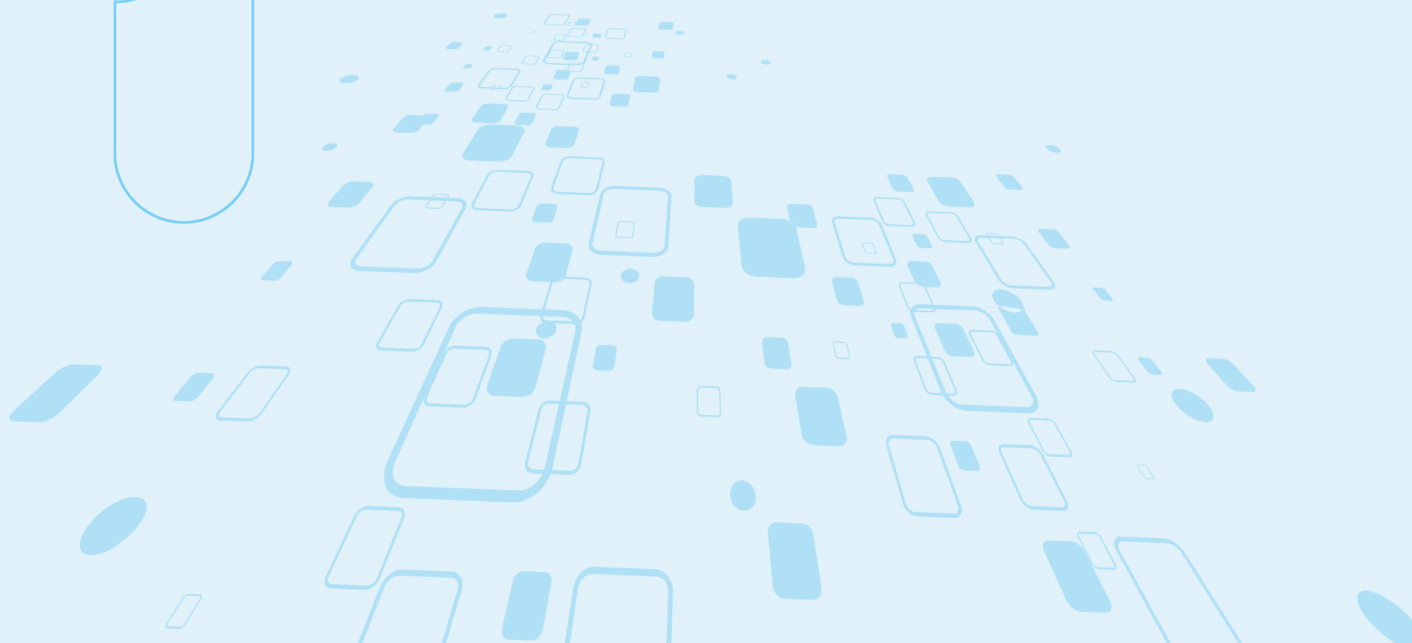
附录 A 职业技能理论模拟试题 ..... 288

附录 B 职业技能操作模拟试题 ..... 305

**参考文献** ..... 313

第一篇

# 基础篇







## 任务一 数控机床的产生与发展

### 一、数控技术的产生与发展

从国际上看,制造业遵循着“劳动密集、设备密集、信息密集、知识密集”的轨迹,并正在经历着从信息密集走向知识密集的新的发展阶段,就是“数字化制造”。在数字化制造和制造自动化中,其技术基础是数控技术。

#### 1. 数控技术的基本概念

数字控制是 20 世纪中期发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信号进行控制的一种方法,也就是用数字化信号来控制动作的过程,简称数控(NC)。采用了数控技术的机床,或者说装备了数控系统的机床,称为数控机床。

国际信息处理联盟第五技术委员会对数控机床的定义:数控机床是一个装有程序控制系统的机床。定义中的程序控制系统就是数控系统。该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序,能自动阅读输入载体上事先给定的数字值,并将其译码,用来控制机床动作和加工零件。

NC 装置是数控技术发展早期普遍使用的数控装置,是完全由硬件逻辑电路构成的专用硬件数控装置,被称为硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控系统,简称数控机床(CNC)。由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程,从而具有了真正的“柔性”,并可以处理逻辑电路难以处理的复杂信息,使数控系统的性能大大提高。所以微型计算机在数字控制系统中得到广泛的应用。

#### 2. 数控技术的产生和发展过程

早在 1930 年,美国就有人申请了机床数控专利。

(1)1946 年世界上产生了第一台计算机,这为数控机床的研制提供了技术基础。

(2)1948 年,美国 Prasons 公司在研究设计和加工直升机螺旋桨叶片轮廓用的加工机床时,提出了革新这种机床的新方案,由此便产生了研制数控机床的最初萌芽。

(3)1949年,Prasons公司在麻省理工学院的协助下开始从事数控机床的研制工作。

(4)1952年,Prasons公司和麻省理工学院合作正式试制成功了世界上第一台数控机床试验性样机。它是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制铣床。

(5)1953年,美国空军与麻省理工学院协作,开始从事计算机自动编程的研究,这就是开始研制APT自动编程系统的开始。

(6)1954年,第一台工业用的数控机床才产生出来。

(7)1955年,美国空军花费巨额经费订购了100台机床。此后美国数控机床的发展进入积极发展阶段。

(8)1958年,美国在世界上首先研制成功了带有自动换刀功能的加工中心机床。

## 二、数控机床发展的历史阶段

早期的数控系统是由逻辑电路来处理数字信息的,于20世纪60年代投入使用。计算机数控系统是由计算机来处理数字信息的,于20世纪80年代投入使用。从数控机床的数控系统的发展历程看,数控机床的发展经历了以下几个阶段。

(1)1952—1959年,第一代电子管数控系统(NC)。

(2)1959—1965年,第二代晶体管数控系统(NC)。

(3)1965—1970年,第三代集成电路数控系统(NC)。

(4)1970—1974年,第四代小型计算机数控系统(CNC)。

(5)1974—1990年,第五代微处理器数控系统(MNC)。

(6)1990年至今,第六代基于工业PC机通用型数控系统。

## 三、我国数控技术的发展

我国从1958年开始研究数控技术,一直到上世纪60年代中期处于研制、开发阶段。我国数控技术的发展可以划分为以下几个历史阶段。

第一阶段为1958—1965年,我国开始研制数控铣床,处于试制和试用阶段。如图1-1所示。

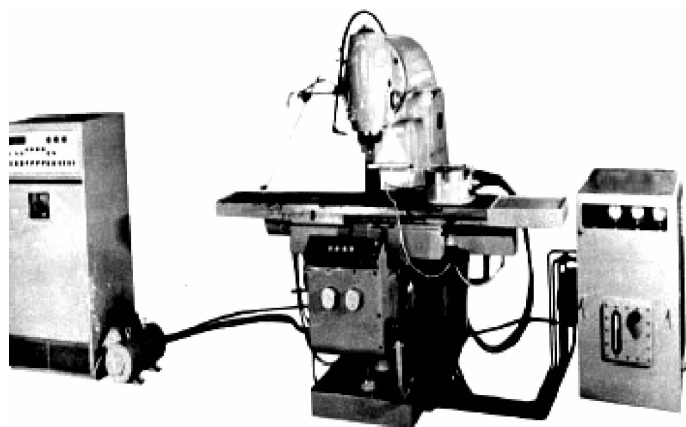


图 1-1 我国第一台数控机床

第二阶段为 1965—1972 年,我国研制晶体管数控系统阶段。

第三阶段为 1972—1979 年,是数控技术的产生和使用阶段,我国研制成功了集成电路数控系统。

第四阶段为 1980 年以后,我国数控技术进入稳步发展阶段。

我国数控技术近年来取得了长足的发展,中高档数控机床的开发取得了较大的发展,如在五轴联动、复合加工、数字化设计以及高速加工、精密及超精密数控机床等一大批关键技术上都取得了很大的突破,一些关键功能部件的制造质量也在稳步提高,如在高速主轴单元、高速滚珠丝杠、重载直线导轨、直线电机、数控转台、刀库及机械手、数字化量仪等高性能功能部件的开发制造水平上已经趋于国际先进水平,在中高档数控系统的开发研究与应用上都取得了一定的成果。我国已经自主研发了一系列的数控系统,初步解决了多坐标联动、远程数据传输等技术难题,开发了交流伺服系统和主轴交流伺服系统,并形成了系列化产品。尽管近几年我国数控技术发展迅速,但是与国际先进水平相比还存在一定的差距与不足,主要体现在高档数控机床发展缓慢,数控系统高性能技术不成熟,数控机床精度指标和性能指标等综合性能还不过硬。

## 任务二 数控机床的组成与分类

### 一、数控机床的组成及各部分的功能

数控加工过程如图 1-2 所示。其中信息输入、信息处理和伺服执行是数控系统工作的三个基本过程。

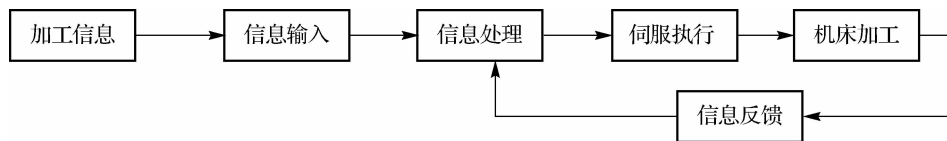


图 1-2 数控加工过程

数控机床种类繁多,但从组成一台完整的数控机床上讲,它由控制介质、数控装置(数控系统)、伺服系统、强电控制柜、机床本体和辅助装置等几个部分所组成。

#### 1. 控制介质

控制介质又称为信息载体,是将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。是人与数控机床之间联系的中间媒介物质,反映了数控加工中全部信息。控制介质有多种形式,它随着数控装置的类型不同而不同,常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘等。除上述几种控制介质外,还有一部分数控机床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接将程序及数据输入。另外,随着计算机自动编程的发展和应用,有些设备利用计算机与数控系统通信,将程序和直接传送给数控装置。

## 2. 数控装置(数控系统、CNC 装置)

### 1) 数控装置的组成

数控装置是数控机床的控制中心,是数控机床的灵魂所在。早期的数控装置完全是由硬件构成的,硬件数控因其功能少、线路复杂、可靠性低等缺点,被现代的计算机数控装置所取代。现代的数控装置通常由一台通用和专用微型计算机构成。

(1)硬件系统。硬件系统是过程计算机数控装置的基础,它决定了数控装置的基本功能,不同的系统其组成结构不同,功能也相差很大,根据使用要求的不同可采用不同的结构。CNC 装置的硬件结构一般分为单微处理器结构和多微处理器结构,主要由微机部分、外围设备部分以及机床控制部分所组成。

①输入装置。输入装置接收控制介质上的信息,经过识别与译码后,送到控制运算器。这些信息将作为控制与运算的原始数据。经过输入装置完成加工程序的信息输入。

②显示器。显示器是数控机床与操作者交互的界面。用以显示数控机床为操作者提供的用户信息,显示数控机床的各功能界面,是人机交互的窗口。

③键盘与面板。用于向机床输入用户信息和控制机床的运动。

④CPU(中央处理器)。中央处理器是运算器和控制器的总称,它的作用是根据输入装置送来的信息进行运算,也就是识别输入介质中每个程序段的加工数据和操作命令,并对其进行换算和刀具轨迹插补计算,并向输出装置输出控制命令。

⑤存储器。只读存储器(ROM):系统程序放在只读存储器中。随机存储器(RAM):运算的中间结果,需显示的数据,运行中的状态、标志信息等存放在随机存储器中。加工的零件程序、机床参数、刀具参数存放在后备电池的 COMS RAM 中,或者存放在磁泡存储器中。

⑥可编程控制器(PLC)。可编程控制器完成数控机床时序逻辑控制,它根据机床加工过程中各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各个部件有条不紊地按顺序工作。

⑦输出装置。输出装置将控制运算器发出的控制命令送到伺服系统,经功率放大、驱动机床完成相应的动作。

(2)软件系统。CNC 软件是为实现 CNC 系统各项功能而编制的专用软件,分为管理软件和控制软件两大部分。

①管理软件。管理软件包括初始化程序、输入数据处理程序、显示程序、I/O 处理程序、诊断程序、系统管理程序等。

②控制软件。控制软件包括译码程序、各种补偿程序、插补运算程序、速度控制程序、位置控制程序等。

### 2) CNC 装置的作用

根据输入的零件加工程序进行相应的处理,然后输出控制指令到相应的执行部件,所有这些工作是由 CNC 装置内硬件和软件协调配合,合理组织,使整个系统有条不紊地进行工作。

### 3) CNC 装置中数据转换流程

CNC 装置数据转换流程如图 1-3 所示。

(1)译码处理。计算机依靠译码程序来识别输入所提供的信息,将加工程序中的各种零件几何信息、工艺参数按照一定的语法规则解释成计算机内能识别的信息,并以一定的数据格式放在指定的内存专用单元。在译码过程中,还要完成程序段的语法检查,发现语法错误立即报警。

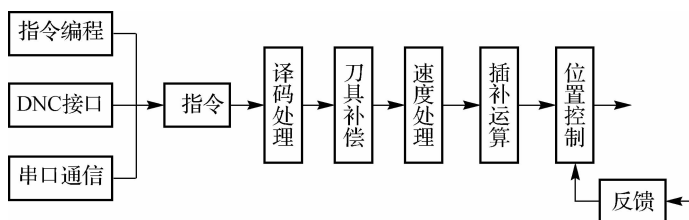


图 1-3 CNC 装置数据转换流程

(2) 刀具补偿。根据刀具参数,确定刀具长度补偿量和刀具半径补偿量,根据零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹,以保证零件加工的精度。

(3) 进给速度处理。根据合成速度计算各运动坐标的分速度,同时按机床允许的最低速度、最高速度、最大加速度和最佳升降速规律,进行速度规划。

(4) 插补运算。根据给定的曲线类型、起点、终点以及速度,在起点和终点之间进行数据点密化。数控系统的插补精度直接影响工件的加工精度,而插补速度决定了工件的表面粗糙度和加工速度,所以插补是一项精度要求较高、实时性很强的运算。

(5) 位置控制。将计算机送出的位置进给脉冲和进给速度指令,经变换和放大后转化为进给电动机的转动,从而带动机床工作台移动。

### 3. 伺服系统

数控机床的伺服系统按有无反馈检测单元分为开环和闭环两种类型,这两种类型的伺服驱动系统的基本组成不完全相同。开环伺服系统是由执行元件及其驱动控制单元构成,闭环伺服系统是由执行元件、驱动控制单元和反馈检测单元构成。驱动控制单元的作用是将进给指令转化为驱动执行元件所需要的信号形式,执行元件则将该信号转化为相应的机械位移。反馈检测单元将移动部件的实际位置检测后反馈给比较控制环节,比较控制环节将指令信号和反馈信号进行比较,以两者的差值作为伺服系统的跟随误差,经驱动控制单元,驱动和控制执行元件带动移动部件运动。

### 4. 强电控制柜

强电控制柜是数控机床各组成部分联系的桥梁和纽带,主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件,除了提供数控系统、伺服系统等一类弱电控制系统的输入电源,以及各种短路、过载、欠压等电气保护外,主要在 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起桥梁连接作用,控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等,此外,它也与数控机床操作台有关的手动按钮连接。强电控制柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。

### 5. 机床本体

数控机床的本体是指其机械结构实体,它与传统的普通机床相比较,同样由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身、立柱以及底座等部分组成,但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。为了满足数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点,数控机床主要有以下几个方面的变化。

(1) 采用高性能主传动及主轴部件。具有传递功率大、刚度高、抗震性好及热变形小等优点。

(2) 进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点,一般采用

滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

(3)具有完善的刀具自动交换和管理系统。

(4)在加工中心上一般有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。

(5)机床本身具有很高的动、静刚度。

(6)采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全一般采用移动门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部件进行全封闭。

## 6. 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置 ATC (automatic tool changer)、自动交换工作台机构 APC (automatic pallet changer)、工件夹紧和放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。其主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运动,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启动停止,工件和机床部件的松开、夹紧,分度工作台转位分度等开关辅助动作。

## 二、数控机床的分类

数控机床的品种很多,分类方法也各不相同,一般可根据功能和结构按下面几种原则进行分类。

### 1. 按机床运动的控制轨迹分类

数控机床按照运动的控制轨迹可分为以下三类。

(1)点位控制数控机床。其功能特点:只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位,对于点与点之间的运动轨迹的要求并不严格,在移动过程中不进行加工,各坐标轴之间的运动是不相关的。为了实现既快又精确的定位,两点间位移的移动一般先快速移动,然后慢速趋近定位点,以保证定位精度。

(2)直线控制数控机床。其功能特点:直线控制数控机床也称为平行控制数控机床,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹,但其运动轨迹只是与机床坐标轴平行移动,也就是说同时控制的坐标轴只有一个,在移动的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削,一般只能加工矩形、台阶形零件。

(3)轮廓控制数控机床。其功能特点:轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。根据它所控制联动的坐标轴数不同,又可以分为下面几种形式。

①两轴联动。它主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面。

②两轴半联动。它主要用于三轴以上机床的控制,其中两根轴可以联动,而另外一根轴可以作周期性进给。

两轴半联动可以用于使用行切法加工三维空间曲面。

③三轴联动。它一般分为两类:一类是 X、Y、Z 三个直线坐标轴的联动,多用于数控铣床、加工中心等;另一类是除了同时控制 X、Y、Z 其中两个直线坐标轴外,还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。

④四轴联动。它同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线轴与某一旋转坐标轴联动。

⑤五轴联动。它除同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线轴联动外,还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  坐标轴中的两个坐标轴,形成同时控制五个轴联动。

## 2. 按伺服控制的方式分类

数控机床按照伺服控制有无反馈检测装置分为开环控制数控机床和闭环控制数控机床,闭环控制数控机床根据反馈检测元件及安装的位置又可分为半闭环控制数控机床和全闭环控制数控机床。

(1)开环控制数控机床。其结构特点:进给伺服驱动是开环的,即没有反馈检测装置,它的驱动电机一般使用步进电机和电液脉冲马达,一般经济型数控机床、低档数控机床和旧机床的数控改造多采用这种控制方式。这种机床的精度主要取决于各零部件的精度,其系统框图如图 1-4 所示。

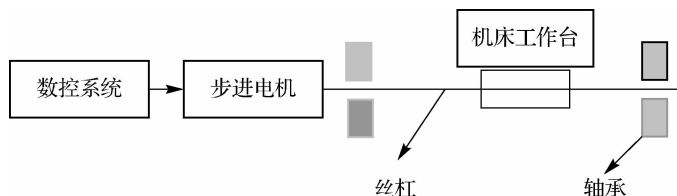


图 1-4 开环控制系统框图

(2)半闭环控制数控机床。其结构特点:具有反馈检测装置,反馈检测装置采用转角检测元件(编码器),直接安装在电机或丝杠的端部,对工作台移动的位置和速度进行间接检测。但对丝杠和丝杠螺母副之间的传动误差不能通过反馈来随时校正。但是可采用软件定值补偿方法来适当提高其精度。目前大多数数控机床采用这种控制方式,其系统框图如图 1-5 所示。

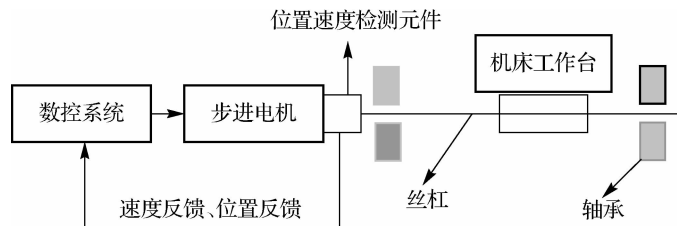


图 1-5 半闭环控制系统框图

(3)全闭环控制数控机床。其结构特点:在机床的移动部件上安装位置检测元件(目前一般使用光栅尺),加工中将移动部件的直线位移量经过反馈检测装置反馈到数控装置中,与输入的指令位移相比较,用比较的差值控制移动部件,直到差值为零,即实现移动部件的最终精确定位。这种控制方式的数控机床的控制精度主要取决于检测装置的精度,它完全可以消除由于传动部件制造中存在的误差给工件加工带来的影响,其系统框图如图 1-6 所示。



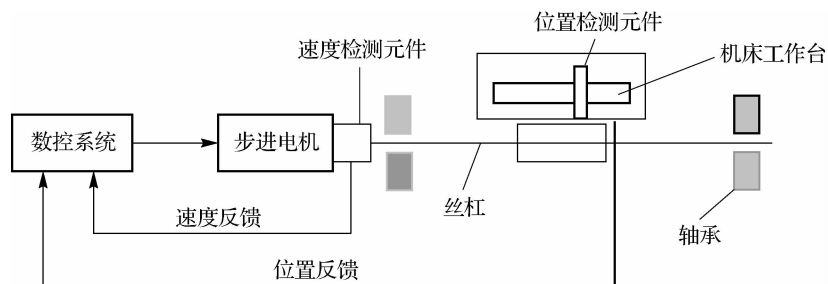


图 1-6 全闭环控制系统框图

### 3. 按数控系统的性能分类

按系统性能可以把数控机床分为高、中、低三档。数控系统的性能的高低主要由其技术参数、功能指标和关键部件所决定,通常可用从以下几方面作为评价数控系统档次的参考条件。

(1) 低档数控机床主要技术参数。

- ① 脉冲当量: 0.01~0.005 mm。
- ② 快速进给: 4~10 m/min。
- ③ 坐标联动: 2~3 轴。
- ④ 伺服系统: 开环步进电动机驱动。
- ⑤ 显示功能: 数码管显示或简单的 CRT 字符显示。
- ⑥ 通信功能: 一般无通信功能。
- ⑦ 主 CPU: 8 位或 16 位。

(2) 中档数控机床主要技术参数。

- ① 脉冲当量: 0.001~0.005 mm。
- ② 快速进给: 15~24 m/min。
- ③ 坐标联动: 3~5 轴。
- ④ 伺服系统: 半闭环直流或交流伺服系统。
- ⑤ 显示功能: CRT 显示有图形功能。
- ⑥ 通信功能: 有 RS232 或 DNC 通信接口。
- ⑦ 主 CPU: 16 位或 32 位。

(3) 高档数控机床主要技术参数。

- ① 脉冲当量: 0.000 1~0.001 mm。
- ② 快速进给: 15~100 m/min。
- ③ 坐标联动: 3~5 轴。
- ④ 伺服系统: 闭环直流或交流伺服系统。
- ⑤ 显示功能: 有三维动态图形显示功能。
- ⑥ 通信功能: 有 MAP(制造自动化协议)等高性能通信接口,具有联网功能。
- ⑦ 主 CPU: 32 位或 64 位。

### 4. 按加工工艺及机床用途分类

数控机床按照工艺及用途可分为金属切削加工类数控机床,如数控车床、数控铣床、数控加工中心机床、数控磨床等;金属成形加工类数控机床,如数控折弯机、数控弯管机等;特种加工类数

控机床,如数控线切割、电火花加工机、激光加工机等;测量、绘图类,如数控三坐标测量仪等。

## 任务三 数控机床的加工特点和发展方向

### 一、数控机床的加工特点

数控机床特点是自动化程度高、加工的零件质量高且稳定、生产效率高,适于产品改型和新产品研制,可向更高级的制造系统发展,加工成本较高,维修要求高。

#### 1. 具有高度柔性

在数控机床上加工零件,主要取决于加工程序,它与普通机床不同,不必制造、更换许多工具、夹具,不需要经常调整机床。因此,数控机床适用于零件频繁更换的场合,也就是适合单件、小批量生产及新产品的开发,缩短了生产准备周期,节省了大量工艺设备的费用。

#### 2. 加工精度高

数控机床的加工精度一般可达到 $0.005\sim 0.1\text{ mm}$ ,数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一个脉冲信号,则机床移动部件移动一个脉冲当量(一般为 $0.001\text{ mm}$ ),而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿,因此,数控机床定位精度比较高。

#### 3. 加工质量稳定、可靠

加工同一批零件,在同一机床,在相同加工条件下,使用相同刀具和加工程序,刀具的走刀轨迹完全相同,零件的一致性,质量稳定。

#### 4. 生产效率高

数控机床可有效地减少零件的加工时间和辅助时间,数控机床的主轴转速和进给量的范围大,允许机床进行大切削量的强力切削,数控机床目前正进入高速加工时代,数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工,减少了半成品的工序间周转时间,提高了生产效率。

#### 5. 改善劳动条件

数控机床加工前调整好,输入程序并启动,机床就能自动连续地进行加工,直至加工结束。操作者主要进行程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等工作,使劳动强度极大降低,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工,既清洁又安全。

#### 6. 利于生产管理现代化

数控机床的加工可预先精确估计加工时间,所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代集成制造技术的基础。

### 二、数控机床的发展方向

进入20世纪90年代以来,由于计算机技术的飞速发展,推动了数控机床技术更快的更

新换代。除了对数控机床技术指标如高速化、高精度和可靠性的进一步提高以外,世界上许多数控系统生产厂家利用 PC 丰富的软硬件资源开发开放式体系结构的新一代数控系统。开放式体系结构使数控系统具有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性,并向智能化、网络化方向发展。

### 1. 高速化

现在的数控机床由于在工业中的广泛应用,数控机床加工的高速化也发展很快。近年来,数控机床主轴转速已翻了几番。20 世纪 80 年代中期,中等规格的加工中心主轴最高转速为 4 000~6 000 RPM,90 年代初提高到 8 000~12 000 RPM。到 90 年代末,主轴转速在 20 000 RPM 以上的已不鲜见,有的已经达到 40 000 RPM,有的主轴最高转数已经达到了 3 000 r/s,即 180 000 RPM。各坐标轴快速移动速度也已由 10 年前的 8~12 m/min 提高到现在的 18~24 m/min,而 30~40 m/min 的机床也广泛用于生产中,100 m/min 以上的高速机床也在不断地研究发展和扩大应用。

### 2. 高精度化

当前,在机械加工高精度的要求下,世界各工业强国已经不能满足于精密加工,而是把超精密加工作为数控机床的未来发展方向。其精度已经从微米级发展到亚微米级,甚至纳米级。现代数控机床为提高数控机床的加工精度,类似传统机床对数控机床基础大件结构特性和热稳定性要求逐步提高以外,从系统软件方面的提高更显示出数控机床的高精度,提升前景远远优于传统机床。现在数控机床在提高数控系统的控制精度和位置检测精度方面已经取得了长足的进展。

### 3. 高可靠性

国内外对数控机床的研发主要面向高档次,追求高速、高精、多功能和多轴联动复合加工等。但随着复合功能的增多和密集型技术的引入,数控机床故障隐患增多,先进功能和性能不能很好维持,先进性失去意义。在日趋激烈的开放市场竞争中,产品的可靠性成为用户关注的焦点,数控机床的高水平化和复杂化突出了可靠性研究的必要性和紧迫感。数控机床的可靠性由指标 MTBF 衡量。MTBF 为 mean time between failures 的缩写,即平均故障间隔时间。MTBF 值越高,数控机床的可靠性越高。

### 4. 功能集成化与智能化

功能集成化是数控机床的另一重要趋势。加工中心上的 ATC 和 APC 已是这类机床的基本常见装置,随着数控机床向柔性化和无人化发展,功能集成化的水平更高地体现在工件自动定位、机内对刀、刀具破损监控、机床与工件精度的检测和补偿方法等方面。

智能化是 21 世纪制造技术发展的一个总的方向,所谓智能加工就是基于网络技术、数字技术、电子技术和模糊控制的一种加工的更高级形式。智能加工是为了在加工过程中模拟人类智能的活动,以解决加工过程中许多不确定性因素,并利用人类智能进行预见及干预这些不确定性,使加工过程实现高速安全化。

### 5. 网络化

机床联网可进行远程控制和无人化操作。通过机床联网,在任何一台机床上可对其他机床进行编程、设定、操作、运行,不同机床的画面可同时显示在每一台机床的屏幕上。现在

国外已经广泛使用了数控机床联网的技术,把机床用网络连接起来,实现了机床管理的统一化和程序传输的便捷化。

## 6. 柔性化

数控机床的柔性是指机床适应加工对象变化的能力,传统的单一品种的大批量刚性自动化设备及生产线,当被加工对象变换时,调整很困难,甚至是不可能的。柔性加工自动化对满足加工对象变换有很强的适应能力。数控柔性的发展不再局限于过去的结构单机柔性了,更有意义的是当前认为的柔性两方面:数控系统本身的柔性,数控系统采用模块化设计,功能覆盖面大,可裁剪性强,便于满足不同用户的需求,根本上由开放化体系结构决定;群控系统的柔性,同一群控系统能依据不同生产流程的要求,使物料流和信息流自动进行动态调整,从而最大限度地发挥群控系统的效能。近几年来,不仅中小批量的生产方式在努力提高柔性化能力,就是大批量生产方式中,也积极向柔性化方面转向。如出现了 PLC 控制的可调组合机床,数控多轴加工中心,换刀换箱式加工中心,数控三坐标动力单元等,如图 1-7 所示。可见现在的柔性已经以高度自动化为基础飞速发展了。

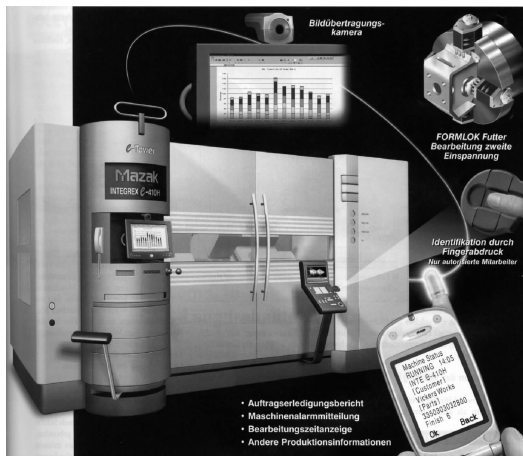


图 1-7 数控机床的柔性化

综上所述,由于数控机床不断采纳科学技术发展中的各种新技术,使得其功能日趋完善,数控技术在机械加工中的地位也显得越来越重要,数控机床的广泛应用是现代制造业发展的必然趋势。