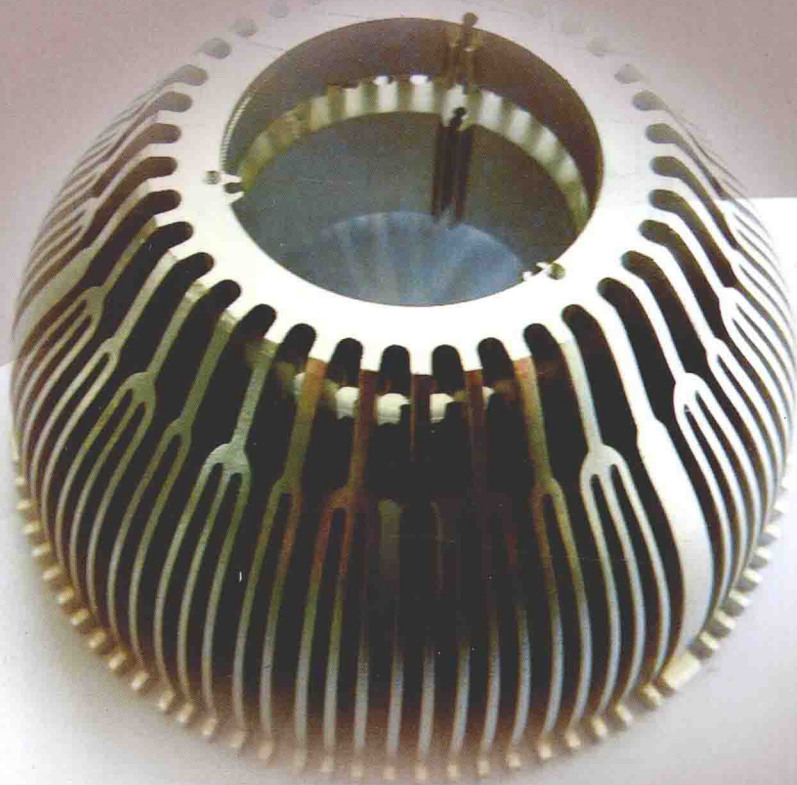


SHUKONG CHEXUE BIANCHENG YU JIAGONG

数控车削编程与加工

◎ 主 编 孟 建 罗 飞
副主编 黄文平 邓 川 罗思艳



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

数控车削编程与加工

主 编 孟 建 罗 飞

副主编 黄文平 邓 川 罗思艳



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控车削编程与加工 / 孟建, 罗飞主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2015. 6
ISBN 978-7-308-14617-3

I. ①数… II. ①孟… ②罗… III. ①数控机床—车
床—车削—程序设计②数控机床—车床—加工工艺
IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 078124 号

内容简介

本书采用项目式教学模式, 全面介绍数控车工职业技能(中级)考试所需要的工艺、编程方法和操作加工技术等知识。全书共分四部分。第一部分为基础知识, 包括数控车床的面板操作、数控车床的编程基础、数控车床的对刀操作。第二部分是技能操作, 包括台阶轴的加工、圆弧轴的加工、凹槽轴的加工、螺纹轴的加工、综合轴类零件的加工、套类零件的加工、配合件的加工。第三部分是 CAXA 数控车的应用。第四部分是职业技能鉴定, 包括一套数控车职业技能(中级)理论考试试卷。通过本书的学习, 能让学生快速、全面地掌握数控车削加工工艺分析与设计、编程和操作。

本书可以作为职业院校数控技术、机电一体化等专业的教材, 也可以作为工程技术人员的参考用书。

数控车削编程与加工

主 编 孟 建 罗 飞
副主编 黄文平 邓 川 罗思艳

责任编辑 杜希武

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10.25

字 数 255 千

版 次 2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-14617-3

定 价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>



前 言

随着数控加工技术的迅速发展,新工艺、新技术在机械制造领域得到了普遍应用,并且越来越普及,其高精度、高适应性、高柔性加工、高效率等方面的优越性已经显露出来,并且有替代传统机械制造加工的趋势。数控加工、数控编程等课程已经成为中职学校和技工院校必开设的课程。

数控车床是在普通车床的基础上发展起来的,但不同的是数控车床的加工过程是按预先编制好的程序,在计算机的控制下自动执行的。数控车床的操作与编程是一项实践性很强的技术,数控车床的操作技工通常既要懂得机床的操作,同时又能进行程序编制,还要能利用现代信息化的自动编程软件进行复杂工件的程序编制。

为了解决中职学校“数控车削编程与加工”课程教学的需要,我们按教学大纲要求,结合多年教学实践经验,并参考一些其他院校的经验,编写了本书。本书采用项目式教学模式,全面介绍数控车工职业技能(中级)考试所需要的工艺、编程方法和操作加工技术等知识。全书共分四部分,分别为基础知识、技能操作、CAXA 数控车应用和鉴定考核,共 11 个项目及 1 个附录:

项目一 数控车床的面板操作

项目二 数控车床的编程基础

项目三 数控车床的对刀操作

项目四 台阶轴的加工

项目五 圆弧轴的加工

项目六 凹槽轴的加工

项目七 螺纹轴的加工

项目八 综合轴类零件的加工

项目九 套类零件的加工

项目十 配合件的加工

项目十一 CAXA 数控车的应用

附录 职业技能鉴定数控车工中级理论试卷

全书尽量删繁就简、详略结合,既照顾到内容的完整性,又不使篇幅过大;既使学生受到全面的基本训练,又避免了不必要的重复。本书适用于职业院校数控技术、机电一体化等专业的教材,也可以作为工程技术人员的参考用书。

本书由成都电子信息学校的孟建(项目四、五、六、七)、罗飞(项目八、十、十一)、黄文平

(项目一、二)、邓川(项目三、附录)、罗思艳(项目九)等编写,其中孟建、罗飞为本书主编,黄文平、邓川、罗思艳为副主编。成都电子信息学校的叶万红、张惠萍、李秀梅、李艳梅、杨静、龚宁戎、蒲静、蒋金局、陈曦等参与了本书的编写。此外,还获得了许基朵、陈德勇等企业专家的宝贵意见,对此表示衷心的感谢。限于编写时间和编者的水平,书中必然会存在需要进一步改进和提高的地方。我们十分期望读者及专业人士提出宝贵意见与建议,以便今后不断加以完善。我们的联系方式:book@51cax.com。

我们谨向所有为本书提供大力支持的有关学校和领导,以及在组织、撰写、研讨、修改、审定、打印、校对等工作中做出奉献的同志表示由衷的感谢。

最后,感谢浙江大学出版社为本书的出版所提供的机遇和帮助。

作 者

2015 年 1 月



目 录

项目一 数控车床的面板操作	1
一、数控车床的分类及基本结构	1
1. 数控机床的分类	1
2. 数控机床的基本结构	5
二、数控车床的加工特点	7
三、数控车床型号代码的含义	9
四、数控车床控制面板	10
项目二 数控车床的编程基础	14
一、数控车床的坐标系统	14
二、数控车床的编程方式	16
1. 手工编程	16
2. 自动编程	16
三、数控程序	17
1. 程序结构	17
2. 常用辅助功能 M 指令	18
3. 常用准备功能 G 指令	19
4. 进给功能 F	22
5. 主轴转速功能 S	22
6. 刀具功能 T	22
项目三 数控车床的对刀操作	23
一、数控车床对刀原理	23
1. 机床坐标系与参考点	23
2. 工件坐标系与起刀点	24
3. 对刀参考点及对刀过程	25
4. 刀具位置补偿及刀偏值的设定原理	25
二、数控车床的对刀方法	26
1. 试切对刀法	26
2. 对刀仪对刀法	27
三、常用对刀法对刀步骤	27

1. 使用 G50 指令对刀	27
2. 使用 G54/G55/G56/G57/G58/G59 指令对刀	28
3. 使用绝对型刀具位置补偿方式对刀	29
4. 使用相对补偿法对刀	29
项目四 台阶轴的加工	30
一、项目描述	30
二、知识准备	31
1. 内外圆柱面粗车复合循环指令(G71)	31
2. 端面粗车复合循环指令(G72)	32
3. 精车复合循环指令(G70)	32
三、台阶轴加工工艺	33
1. 零件图分析	33
2. 工艺分析	33
3. 工艺规程安排	34
四、数控程序	36
五、数控仿真加工	37
1. 仿真环境下的车床准备	37
2. 仿真环境下的加工准备	38
3. 仿真加工	41
六、零件的加工	42
1. 加工准备	42
2. 对刀设置	42
3. 空运行及仿真	42
4. 自动加工及尺寸控制	42
5. 加工注意事项	42
七、综合评价	43
1. 自我评价	43
2. 小组互评	44
3. 教师评价	44
项目五 圆弧轴的加工	45
一、项目描述	45
二、知识准备	46
三、圆弧轴加工工艺	47
1. 零件图分析	47
2. 工艺分析	47
四、数控程序	50
五、数控仿真加工	51



六、零件的加工	51
1. 加工准备	51
2. 对刀设置	52
3. 空运行及仿真	52
4. 自动加工及尺寸控制	52
5. 加工注意事项	52
七、综合评价	53
1. 自我评价	53
2. 小组互评	54
3. 教师评价	54
项目六 凹槽轴的加工	55
一、项目描述	55
二、知识准备	56
1. 端面啄式钻孔循环(G74)	56
2. 外圆/内径啄式钻孔循环(G75)	57
三、凹槽轴加工工艺	58
1. 零件图分析	58
2. 工艺分析	58
3. 工艺规程安排	59
四、数控程序	59
五、数控仿真加工	60
六、零件的加工	61
1. 加工准备	61
2. 对刀设置	61
3. 空运行及仿真	61
4. 自动加工及尺寸控制	61
5. 加工注意事项	62
七、综合评价	62
1. 自我评价	62
2. 小组互评	63
3. 教师评价	64
项目七 螺纹轴的加工	65
一、项目描述	65
二、知识准备	66
1. 螺纹切削时的几个问题	66
2. 单行程螺纹切削循环指令 G32	66
3. G76:螺纹切削复合循环	67

4. G92:螺纹切削单一固定循环	68
三、螺纹轴加工工艺	70
1. 零件图分析	70
2. 工艺分析	70
3. 工艺规程安排	71
四、数控程序	72
五、数控仿真加工	73
六、零件加工	74
1. 加工准备	74
2. 对刀设置	74
3. 空运行及仿真	74
4. 自动加工及尺寸控制	74
5. 加工注意事项	74
七、综合评价	75
1. 自我评价	75
2. 小组互评	76
3. 教师评价	77
项目八 综合轴类零件的加工	78
一、项目描述	78
二、综合轴加工工艺	79
1. 零件图分析	79
2. 工艺分析	79
3. 工艺规程安排	81
三、数控程序	83
四、数控仿真加工	85
五、零件的加工	86
1. 加工准备	86
2. 对刀设置	86
3. 空运行及仿真	86
4. 自动加工及尺寸控制	86
5. 掉头加工	87
6. 加工注意事项	87
六、综合评价	87
1. 自我评价	87
2. 小组互评	89
3. 教师评价	89



项目九 套类零件的加工	90
一、项目描述	90
二、套类零件加工工艺	91
1. 零件图分析	91
2. 工艺分析	91
3. 工艺规程安排	92
三、数控程序	93
四、数控仿真加工	94
五、零件的加工	94
1. 加工准备	94
2. 对刀设置	94
3. 空运行及仿真	94
4. 自动加工及尺寸控制	94
5. 加工注意事项	95
六、综合评价	95
1. 自我评价	95
2. 小组互评	96
3. 教师评价	97
项目十 配合件的加工	98
一、项目描述	98
二、配合件加工工艺	100
1. 零件图分析	100
2. 配合分析	100
3. 工艺分析	100
4. 工艺规程安排	101
三、数控程序	103
1. 零件二加工程序	104
2. 零件一左端加工程序	106
3. 零件一右端加工程序	106
四、数控仿真加工	108
五、零件的加工	108
1. 加工准备	108
2. 对刀设置	109
3. 空运行及仿真	109
4. 自动加工及尺寸控制	109
5. 加工注意事项	109
六、综合评价	110

1. 自我评价	110
2. 小组互评	111
3. 教师评价	111
项目十一 CAXA 数控车的应用	112
一、项目描述	112
二、知识链接	113
1. CAXA 数控车简介	113
2. 界面熟悉	113
3. 基本操作	115
4. 轨迹仿真	117
5. 机床设置及后置处理	117
6. 生成 G 代码	118
7. 参数化公式曲线的分析	119
三、任务实施	122
1. 加工准备	122
2. 实施步骤	122
四、综合评价	137
1. 自我评价	137
2. 小组互评	138
3. 教师评价	139
附录 职业技能鉴定数控车工中级理论试卷	140
数控车工中级理论试卷答案	152
参考文献	154



项目一 数控车床的面板操作

【知识目标】

1. 掌握数控车的基本类型
2. 了解数控车床的基本结构及加工特点
3. 掌握数控车床型号代码含义
4. 掌握数控车床控制面板种类及特点
5. 掌握数控车床 GSK980TD 系统面板各个按键的功能

【技能目标】

1. 能够对数控车床进行简单的分类
2. 能够说出数控车床基本结构及加工特点
3. 能够说出各种数控车床型号代码的含义
4. 能够知道几种数控车床控制面板的种类及特点
5. 熟练操作数控车床 GSK980TD 系统面板

【情感目标】

1. 培养合作精神
2. 培养细心观察的能力

一、数控车床的分类及基本结构

数字控制(Numerical Control, NC)简称数控,是一种利用数字化的信息对设备运动及加工过程进行控制的一种自动化技术。将数控技术实施到加工控制中去的机床,或者说装备了数控系统的机床被称为数控(NC)机床。数控机床是集机、电、液、气、光一体化的产品。

数控机床作为目前一种使用广泛、典型的机电一体化产品,综合应用了微电子技术、计算机技术、自动控制、精密测量和机床结构等方面的最新成就,是一种高效的自动化机床。数控机床的控制系统不仅能控制机床各种动作的先后顺序,还能控制机床运动部件的运动速度以及刀具相对工件的运动轨迹。由于数控机床集高效率、高精度和高柔性于一身,很好地代表了机床的主要发展方向,所以它已经逐步成为目前机械加工自动化生产过程中最具代表性的核心设备,并且成为计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等柔性加工和柔性制造系统的基础。

1. 数控机床的分类

数控车床品种繁多,规格不一,可按如下方法进行分类。

(1)按机床运动的控制进行分类

1)点位控制数控机床

点位控制数控机床只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点,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,从而保证定位精度。如图 1.1 所示为点位控制的加工轨迹。点位控制的数控机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等,用于加工平面内的孔系。

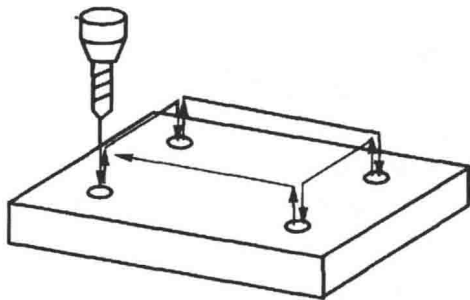


图 1.1 数控机床点位控制的加工轨迹

2)直线控制数控机床

直线控制数控机床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移动轨迹。两点之间的运动轨迹是一条直线,在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削。具有直线控制功能的机床主要有数控车床、数控铣床和数控磨床等。

3)轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床的控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标方向的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求,必须将各坐标方向运动的位移和速度按一定规律协调起来。因此,数控装置具有插补运算功能,通过数控系统内插补运算器的处理,把直线或圆弧的形状描述出来,并根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲量,从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削,可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工。轮廓控制的加工轨迹如图 1.2 所示。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床和加工中心等。

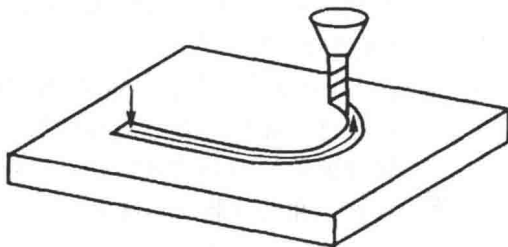


图 1.2 数控机床轮廓控制的加工轨迹

这类机床的数控装置称为轮廓控制数控系统,根据系统控制的联动坐标轴数的不同,这类机床又可细分为二轴联动、三轴联动、四轴联动及五轴联动等。

(2)按有无检测装置进行分类

1)开环控制数控机床

开环控制数控机床的进给伺服驱动是开环的,即没有检测反馈装置。这类数控系统一般以步进电机作为伺服驱动元件。控制系统框图如图 1.3 所示,数控系统输出的进给指令信号通过脉冲分配器来控制电路。它以变换脉冲的个数来控制坐标位移量,以变换脉冲的频率来控制位移速度,以变换脉冲的分配顺序来控制位移的方向。这种控制方式具有控制方便、结构简单、价格便宜的特点。由于数控系统指令信号流是单向的,所以控制系统的稳定性比较好,但由于机械传动的误差不经过反馈校正,因而位移精度不高。

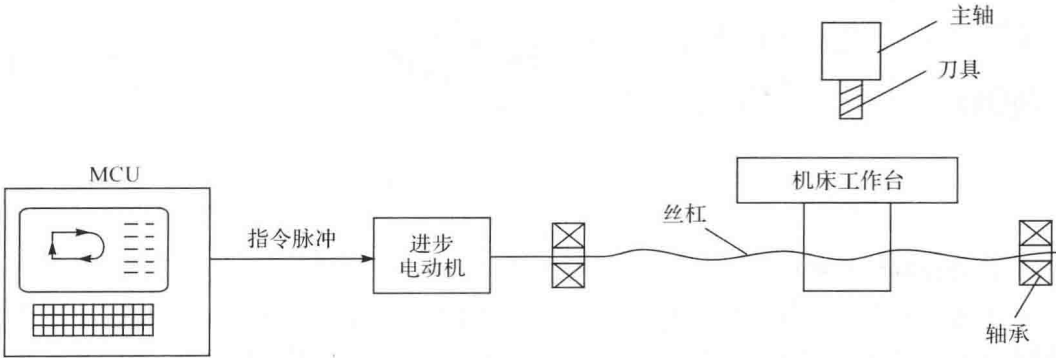


图 1.3 开环控制系统框图

2)闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的,其伺服电动机可采用直流或交流两种,并具有位置反馈和速度反馈功能。在加工中随时检测移动部件的实际位移量,并及时反馈给数控系统中的比较器。实际位移量与插补运算所得到的指令信号进行比较,其差值又作为伺服电机的控制信号,进而带动部件位移以消除位移误差。

按位置反馈检测元件的安装部位和所使用的反馈装置的不同,它又分为全闭环控制和半闭环控制两种控制方式。

①全闭环控制。如图 1.4 所示,其位置反馈装置为安装在机床的工作台侧面的直线位移检测元件(一般采用光栅尺),直接检测机床工作台坐标的直线位移,并通过反馈消除从电

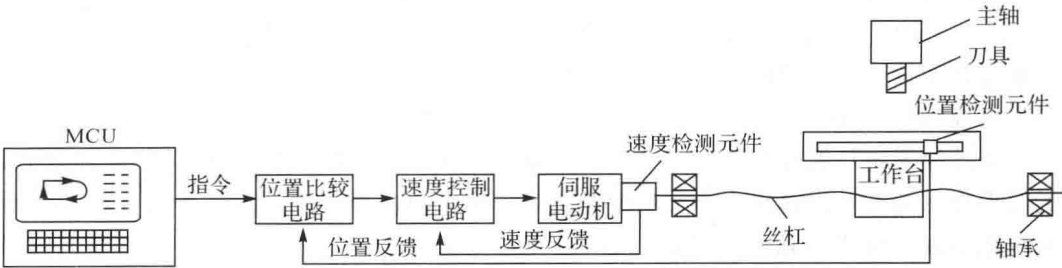


图 1.4 全闭环控制系统框图

动机到机床工作台的整个机械传动链中的传动误差,从而得到机床工作台的准确位置。这种全闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控镗床和数控精密磨床等。

②半闭环控制。如图 1.5 所示,其位置反馈装置采用直接安装在伺服电动机或丝杠端部的转角检测元件(主要采用编码器等)。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可获得较稳定的控制特性。丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正,但是可以采用软件补偿方法适当提高其精度。目前,大部分数控机床采用半闭环控制方式。

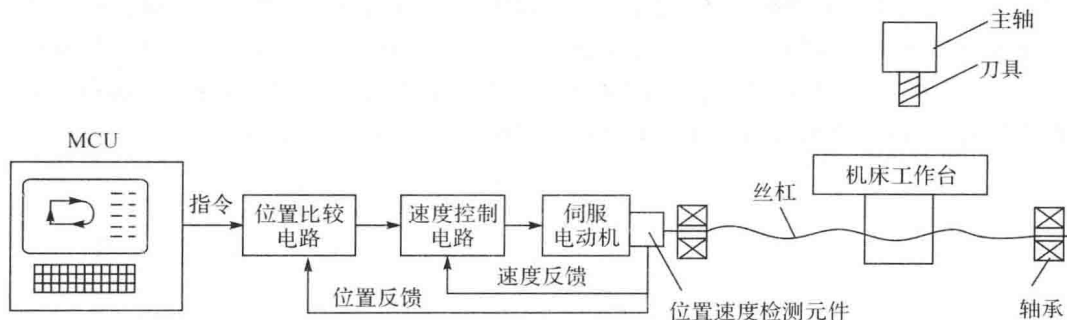


图 1.5 半闭环控制系统框图

3)混合控制数控机床

将上述控制方式的特点有选择地集中,可以组成混合控制的方案。如前所述,由于开环控制方式稳定性好、成本低、精度差,而全闭环稳定性差,因此为了互相弥补,以满足某些机床的控制要求,宜采用混合控制方式。采用较多的控制方式有开环补偿型和半闭环补偿型两种。

(3)按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平,通常把数控系统分为高、中、低三档。中、高档一般称为全功能数控或标准型数控。低档数控一般为经济型数控,是指由单片机和步进电动机组成的数控系统,或其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控系统主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

1)经济型(简易)数控机床

这类数控机床通常仅能满足一般精度要求的加工,能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹类的零件,采用的微机系统为单板机或单片机系统,机床进给由步进电机实现开环驱动,控制的轴数和联动轴数在 3 轴或 3 轴以下,最小进给分辨率力为 $10\mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10\text{m}/\text{min}$ 。这类机床结构比较简单,精度中等,价格也比较低廉,一般不具有通信功能。如经济型数控线切割机床、数控钻床、数控车床、数控铣床及数控磨床等。

2)普及型(全功能)数控机床

这类数控系统功能较多,但以实用为主,除了具有一般数控系统的功能以外,还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等。机床的进给多用交流或直流伺服驱动,一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制,最小进给分辨力为 $1\mu\text{m}$,快速进给速度为 $10\text{m}/\text{min}\sim 20\text{m}/\text{min}$,其输入/输出的控制一般可由可编程序控制器来完成,从而大大增强了系统的可靠性和控制的灵活性。这类数控机床的品种极多,几乎覆盖了各种机床类别,且其价格

适中。

3) 高档型数控机床

高档型数控机床是指加工复杂形状工件的多轴控制数控机床,且其工序集中、自动化程度高、功能强、具有高度柔性。机床的进给大多采用交流伺服驱动,除了具有一般数控系统的功能以外,应至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制,最小进给分辨力为 $0.1\mu\text{m}$,最大快速移动速度能达到 $100\text{m}/\text{min}$ 或更高,具有三维动画图形功能和人性化的图形用户界面。同时具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能,还有很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,且能实现计算机的联网和通信。这类系统功能齐全,价格昂贵,如具有 5 轴以上的数控铣床,大、重型数控机床、五面加工中心、车削中心和柔性加工单元等。

(4) 按加工工艺及机床用途分类

1) 金属切削类

金属切削类数控机床指采用车、铣、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床,它又可分为以下两类:

① 普通型数控机床。如数控车床、数控铣床、数控磨床等。

② 加工中心。其主要特点是具有自动换刀机构和刀具库,工件经一次装夹后,通过自动更换各种刀具,在同一台机床上对工件各加工面连续进行铣(车)、铣、铰、钻、攻螺纹等多种工序的加工,如(镗/铣类)加工中心、车削中心、钻削中心等。

2) 金属成形类

金属成形类数控机床指采用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床。常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

3) 特种加工类

特种加工类数控机床主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

2. 数控机床的基本结构

数控机床主要由以下几个部分组成,如图 1.6 所示。

(1) 计算机数控装置(CNC 装置)

计算机数控装置是计算机数控系统的核心。其主要作用是根据输入的零件加工程序或操作命令进行相应的处理,然后输出控制命令到相应的执行部件,完成零件加工程序或操作所要求的工作。

(2) 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动装置、主轴电机、进给伺服驱动装置及进给电机。测量装置是实现主轴控制、进给速度闭环控制和进给位置闭环控制的必要装置。主轴伺服系统的作用是实现零件加工的切削运动,进给伺服系统的作用是实现零件加工所需的成型运动。

(3) 控制面板

控制面板是操作人员与数控机床(系统)进行信息交互的工具,主要由按钮站、状态灯、按键阵列和显示器等组成。操作人员通过它对数控机床进行操作、编程、调试或对机床参数

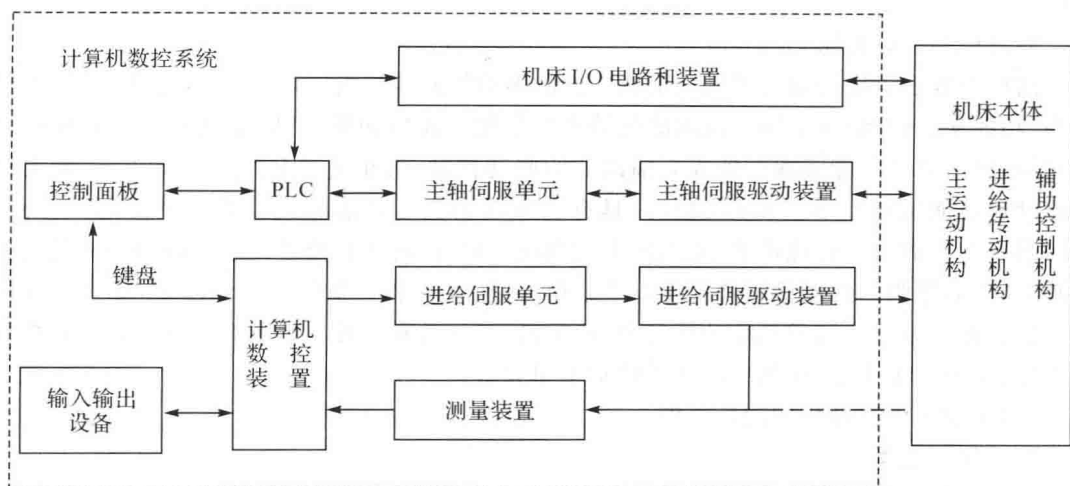


图 1.6 数控机床的组成

进行设定和修改,也可以通过它了解或查询数控机床的运行状态。

(4)控制介质

控制介质是人与机床建立联系的介质,控制与程序输入输出设备是 CNC 系统与外设进行信息交互的装置,其作用是将记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统,或将已调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录相应的介质上。目前数控机床常用的控制介质和程序输入输出设备是磁盘和磁盘驱动器。

此外,现代数控系统一般可利用通信方式进行信息交换。这种方式是实现 CAD(计算机辅助设计)/CAM(计算机辅助制造)的集成、FMS(柔性制造系统)和 CIMS(计算机集成制造系统)的基本技术。目前在数控机床上常用的通信方式有:

- ①串行通信。
- ②自动控制专用接口。
- ③网络技术。

(5)PLC(可编程序控制器)、机床 I/O(输入/输出)电路和装置

PLC 用于进行与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,它由硬件和软件组成。机床 I/O 电路和装置是用于实现 I/O 控制的执行部件,是由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。它们共同完成以下任务:

- 1)接受 CNC 的 M、S、T 指令,对其进行译码并转换成对应的控制信号,控制辅助装置完成机床相应的开关动作。
- 2)接受操作面板和机床传来的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经其处理后,输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

(6)机床本体

机床本体是数控系统的控制对象,是实现加工零件的执行部件。它主要由主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、拖板及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)、特殊装置、自动工件交换(APC)系统、自动刀具交换(ATC)系统和辅助装置(如冷