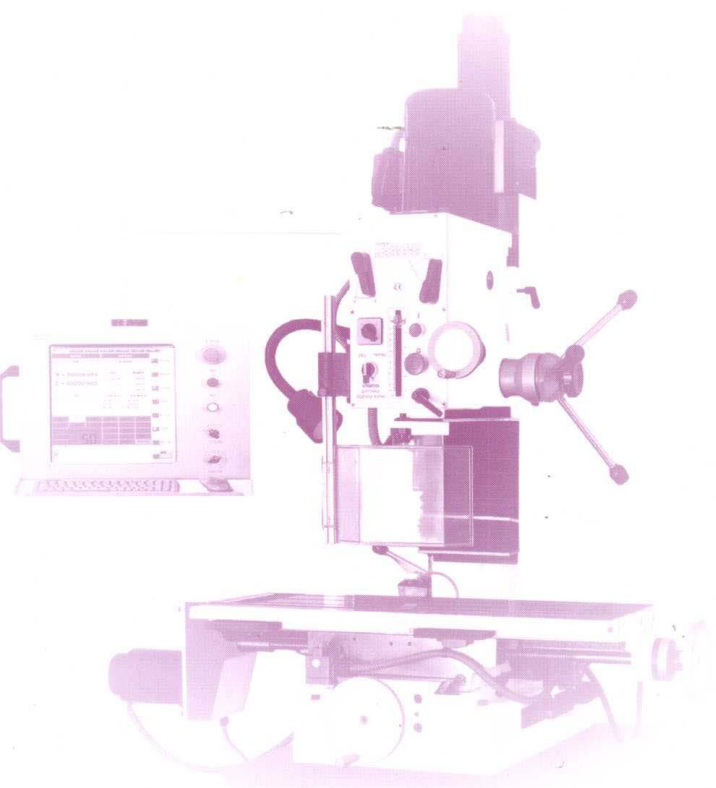




高职高专“十二五”规划教材

典型零件数控加工

主编 吴京霞



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



配有课件



高职高专“十二五”规划教材

典型零件数控加工

主编 吴京霞

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书将培养学生的数控加工程序编制技能作为核心,以国家职业标准中级数控车工、铣工考核要求为基本依据,以工作过程为导向,典型零件为知识载体,详细介绍了数控加工工艺设计,FANUC 数控系统车、铣、加工中心的编程指令,数控软件的仿真应用等。

全书共分三篇:第一篇 基础篇;第二篇 数控车床加工工艺及编程;第三篇 数控铣床及加工中心加工工艺及编程。第一篇通过两章介绍了数控加工的基础知识;第二篇通过 7 个源于企业的典型案例,由简单到复杂、由单一到综合地培养学生掌握数控车削零件加工工艺设计及程序的编制;第三篇包含了 6 个典型案例,每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、小结、思考与习题等几部分组成,涵盖了数控铣床、加工中心常见的工艺问题处理方法及常用的编程指令。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校数控技术、模具设计与制造、机电一体化、机械制造及自动化等专业的教学用书,也可供有关技术人员、数控机床编程人员参考、培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

典型零件数控加工 / 吴京霞主编. --北京 : 北京
航空航天大学出版社, 2012. 8
ISBN 978 - 7 - 5124 - 0826 - 5

I. ①典… II. ①吴… III. ①机械元件—数控机床—
加工—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 114501 号

版权所有,侵权必究。

典型零件数控加工

主编 吴京霞

责任编辑 李 青 李徐心 李 玉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82318026

读者信箱: glodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华文书局印刷 全国各地书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:506 千字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 0826 - 5 定价:38.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

数控加工作为一种先进的零件加工技术,在产品研制中得到了广泛的应用。零件的数控加工程序编制是数控加工设备操作工、数控工艺员、编程员的典型工作任务,是数控技术高技能人才必须掌握的技能,也是高职数控技术、机械、模具类专业中一门重要的骨干专业课。

本书以培养学生的数控加工工艺设计能力、训练数控加工程序编制技能为目标,详细介绍了数控加工工艺设计,数控车、镗铣类及加工中心的编程指令(FANUC 系统)。

本书以工作过程为导向,以企业常见典型零件结合教学需求提升后的案例为载体,采用项目教学的方式组织内容。每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、思考与习题等几部分组成,由简单到复杂、由单一到综合,学生通过学习不仅能系统地掌握数控编程知识,而且能够掌握零件工艺性分析,完成零件数控加工工艺设计及程序的编制,达到中级数控车工、数控铣工、加工中心数控操作工的水平。

本书由四川航天职业技术学院吴京霞担任主编,周林、张卓娅主审,孙文珍、郭红霞、高春担任副主编。吴京霞负责全书的统稿和定稿工作,并编写了第一篇的第1章、第二篇的项目一和项目二、第三篇的项目六;郭红霞编写了第二篇的项目三和项目四;张卓娅参编了第二篇的项目五和项目七;周林编写了第二篇的项目六及第三篇的项目五;王舟编写了第三篇的项目一、项目二;孙文珍编写了第三篇的项目三、项目四;高春编写了第一篇的第2章及第二篇、第三篇的绪论部分。

本书在编写过程中,得到了学院各级领导及企业技术人员的大力支持,参考了大量相关教科书、资料,在此一并表示衷心的感谢!

由于时间仓促,编者水平和经验有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2012 年 7 月

目 录

第一篇 基础篇

第 1 章 数控加工概论	1
1.1 数控技术的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.2 数控机床的基本概念	2
1.2 数控机床的组成及分类	2
1.2.1 数控机床的组成及加工原理	2
1.2.2 数控机床的分类	4
1.3 数控机床加工的特点及应用	8
1.3.1 数控机床加工的特点	8
1.3.2 数控机床的适用范围	9
1.4 数控机床的发展方向	10
小 结	11
思考与习题	12
第 2 章 数控加工编程基础	13
2.1 数控机床坐标系	13
2.1.1 数控机床坐标系的确定	13
2.1.2 机床坐标系与工件坐标系	16
2.2 数控编程的步骤及方法	18
2.2.1 数控编程的步骤	18
2.2.2 数控编程的方法	19
2.3 数控编程格式	20
2.3.1 程序结构与格式	20
2.3.2 编程规则	23
2.4 数控编程的数据处理	25
2.4.1 基点坐标系计算	26
2.4.2 节点坐标的计算	26
2.4.3 辅助计算	27
小 结	28
思考与习题	29

第二篇 数控车床加工工艺及编程

绪 论 数控车床认知概论	31
一、数控车床的组成及分类	31
(一) 数控车床的组成	31
(二) 数控车床的分类	34
二、数控车床的加工对象及加工特点	36
(一) 数控车床的加工对象	36
(二) 数控车床的加工特点	37
三、数控车床的主要技术参数及系统功能	38
小 结	41
思考与习题	41
项目一 数控车削加工工艺分析	42
一、项目导入	42
二、相关知识	43
(一) 数控加工工艺的特点	43
(二) 数控车削加工工艺内容的选择	44
(三) 数控加工零件图的结构工艺性分析	44
(四) 数控车削加工工艺过程的拟定	46
(五) 零件的定位基准与夹具的选择	51
(六) 数控车削加工刀具材料及其选择	53
(七) 数控车削加工的切削用量选择	59
三、项目实施	61
(一) 零件图工艺分析	61
(二) 确定装夹方案	62
(三) 确定加工顺序及走刀路线	62
(四) 刀具选择	62
(五) 切削用量选择	63
(六) 数控加工工艺卡的拟订	63
小 结	66
思考与习题	66
项目二 阶梯轴的工艺设计、编程与加工	69
一、项目导入	69
二、相关知识	70
(一) 阶梯轴的车削加工工艺	70
(二) 数控车床坐标系及工件坐标系	76
(三) 数控车床编程的特点	76

(四) 数控系统功能	77
(五) 轴类零件加工编程基本指令	82
(六) 轴类零件加工编程的单一循环指令(G90、G94)	85
(七) 轴类零件编程实例	89
三、项目实施	90
(一) 加工工艺分析	90
(二) 加工程序编制	92
(三) 仿真加工	94
小 结	98
思考与习题	99
 项目三 螺纹轴的工艺设计及编程	101
一、项目导入	101
二、相关知识	102
(一) 螺纹数控车削加工工艺	102
(二) 螺纹加工指令(G32、G92 和 G76)	107
(三) 复合循环指令(G71、G70)	112
三、项目实施	115
(一) 加工工艺分析	115
(二) 加工程序编制	118
(三) 仿真加工	120
小 结	121
思考与习题	121
 项目四 盘套类零件的工艺设计及编程	125
一、项目导入	125
二、相关知识	126
(一) 盘套类零件的加工工艺	126
(二) 端面粗车复合循环指令(G72)	133
(三) 端面深孔钻削循环指令(G74)	134
(四) 径向切槽循环指令(G75)	136
(五) 切槽相关知识链接	137
三、项目实施	139
(一) 加工工艺分析	139
(二) 加工程序编制	142
(三) 仿真加工	144
小 结	145
思考与习题	146

项目五 典型弧面零件工艺设计及编程	148
一、项目导入	148
二、相关知识	149
(一) 圆弧类零件的数控车削工艺知识	149
(二) 圆弧插补指令(G02/G03)	152
(三) 刀尖圆弧自动补偿指令	153
(四) 仿形车粗车循环(G73)	157
三、项目实施	159
(一) 加工工艺分析	159
(二) 加工程序编制	162
(三) 仿真加工	164
小 结	166
思考与习题	166
项目六 非圆锥曲线类回转体零件的工艺设计及编程	169
一、项目导入	169
二、相关知识	169
(一) 用户宏程序	169
(二) 图形的数学处理方法	173
三、项目实施	175
(一) 加工工艺分析	175
(二) 加工程序编制	176
(三) 仿真加工	177
四、知识点拓展	178
(一) 变量的类型	179
(二) 宏程序调用	180
五、拓展知识应用	182
小 结	183
思考与习题	183
项目七 配合件的工艺设计与编程	185
一、项目导入	185
二、项目实施	185
(一) 加工工艺分析	185
(二) 加工程序编制	189
(三) 仿真加工	193
小 结	195
思考与习题	195

第三篇 数控铣床及加工中心加工工艺及编程

绪 论 数控铣床及加工中心的认知概论	196
一、数控铣床和加工中心的分类	196
二、数控铣削的加工特点及加工对象	200
小 结	202
思考与习题	202
 项目一 数控铣削加工工艺分析	204
一、项目导入	204
二、相关知识	204
(一) 选择并确定数控铣削的加工内容	204
(二) 零件结构工艺性分析及处理	205
(三) 零件毛坯的工艺性分析	208
(四) 数控铣削加工工艺过程的制定	209
(五) 工件装夹定位及夹具的选择	213
(六) 数控铣削加工刀具的选择	217
(七) 数控铣削加工的切削用量选择	224
(八) 数控铣削编程原点的选择与几何尺寸的处理方法	226
三、项目实施	227
(一) 零件图工艺分析	227
(二) 选择加工方法	227
(三) 确定装夹方案	227
(四) 确定加工顺序及走刀路线	227
(五) 刀具选择	227
(六) 切削用量的选择	228
(七) 拟定数控铣削加工工序卡	228
小 结	229
思考与习题	230
 项目二 平面凸轮廓类零件的工艺及编程	232
一、项目导入	232
二、相关知识	232
(一) 平面铣削工艺设计	233
(二) 数控系统的相关功能指令	235
三、项目实施	245
(一) 加工工艺分析	245
(二) 加工程序编制	246
(三) 仿真加工	248

小 结·····	250
思考与习题·····	250
项目三 型腔类零件的加工工艺及编程 ·····	252
一、项目导入 ·····	252
二、相关知识 ·····	252
(一) 型腔铣削工艺设计 ·····	252
(二) 铣削加工的系统相关指令 M98/M99、G68/G69、G51/G50 ·····	255
三、项目实施 ·····	260
(一) 加工工艺分析 ·····	260
(二) 加工程序编制 ·····	261
(三) 仿真加工 ·····	263
小 结·····	264
思考与习题·····	264
项目四 孔系零件的加工工艺及编程 ·····	266
一、项目导入 ·····	266
二、相关知识 ·····	266
(一) 孔加工的工艺设计 ·····	266
(二) 孔加工的固定循环指令 ·····	269
三、项目实施 ·····	275
(一) 加工工艺分析 ·····	275
(二) 加工程序编制 ·····	276
(三) 仿真加工 ·····	279
小 结·····	279
思考与习题·····	279
项目五 曲面铣削加工工艺及编程 ·····	281
一、项目导入 ·····	281
二、相关知识 ·····	281
三、项目实施 ·····	282
(一) 加工工艺分析 ·····	282
(二) 加工程序编制 ·····	284
小 结·····	286
思考与习题·····	287
项目六 零件综合加工工艺设计及编程 ·····	288
一、项目导入 ·····	288
二、相关知识 ·····	288

(一) 平面铣削	288
(二) 内、外轮廓面铣削	288
(三) 二维型腔区域的铣削	290
(四) 孔加工	291
(五) 螺纹加工	292
三、项目实施	292
(一) 加工工艺分析	292
(二) 加工程序编制	296
(三) 仿真加工	301
小 结	301
思考与习题	301
参考文献	303

第一篇 基础篇

第 1 章 数控加工概论

【学习目标】

- ① 了解数控机床的生产和发展过程；
- ② 了解数控机床加工特点；
- ③ 掌握数控机床的组成以及加工原理。

1.1 数控技术的产生与发展

1.1.1 数控机床的产生与发展

20 世纪 40 年代以来,由于航空航天技术的飞速发展,对各种飞行器的加工提出了更高的要求。这些用于飞行器的零件大多外形轮廓复杂,材料多为难加工的铝、钛合金,用传统的机床和工艺方法进行加工,不仅不能保证零件精度,也很难提高生产效率。为了解决零件复杂形面的加工问题,1948 年美国帕森斯(Parsons)公司在配合美国空军研制加工直升飞机叶片轮廓样板时,提出了数控机床的初始设想。1949 年与麻省理工学院(MIT)合作,开始了三坐标数控铣床的研制工作,1952 年 3 月公开宣布了世界上第一台数控机床的试制成功,可作直线插补。经过 3 年的试用、改进与提高,数控机床于 1955 年进入实用化阶段。

此后,德国、英国、日本等都开始研制数控机床,其中日本发展最快。当今世界著名的数控系统厂家有日本的法那科(FANUC)公司、德国的西门子(SIEMENS)公司、美国的 A-BOS-
ZA 公司等。1959 年,美国 Keaney&Treckre 公司成功开发了具有刀库、刀具交换装置及回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工,如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓铣削等加工。至此,数控机床的新一代类型——加工中心(Machining Center)诞生了,并成为当今数控机床发展的主流。

半个世纪以来,数控技术依托于电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量技术得到了迅猛的发展,加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了 2 个阶段和 6 个时代。

① 数控(NC)阶段(1952 年—1970 年)。早期的计算机运算速度慢,不能适应机床实时控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了 3 代,即 1952 年的第 1 代——电子管数控机床;1959 年的第 2 代——晶体管数控机床;1965 年的第 3 代——集成电路数控机床。

② 计算机数控(2NC)阶段(1970 年—现在)。1970 年,通用小型计算机已出现并投入成

批生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了 3 代,即 1970 年的第 4 代——小型计算机数控机床;1974 年的第 5 代——微型计算机数控系统;1990 年的第 6 代——基于 PC 的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,发展非常迅速,几乎每 5 年更新换代一次,其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。

1.1.2 数控机床的基本概念

① 数控即数字控制(Numerical Control,NC),数控技术即 NC 技术,是指用输入数控装置的数字化信息控制机械执行预定动作的技术。

② 数控机床(Numerically Control machine tool),称为 NC 机床。它是以数字化信息实现机床控制的,它把刀具与工件之间的相对位置、机床电动机的启动和停止、主轴的变速、工件的松开与夹紧、刀具的选择、冷泵的启动与停止等各种操作和顺序动作等信息,用代码化的数字信息通过控制介质输入数控装置或计算机,经译码处理与运算,发出各种指令控制机床伺服系统和其他执行元件,使机床自动加工出所需的工件。

1.2 数控机床的组成及分类

1.2.1 数控机床的组成及加工原理

1. 数控机床的组成

现代的计算机数控机床由控制介质与程序输入/输出设备、计算机数控(CNC)装置、伺服系统和位置反馈系统、机床本体等几部分组成,如图 1-1 所示。

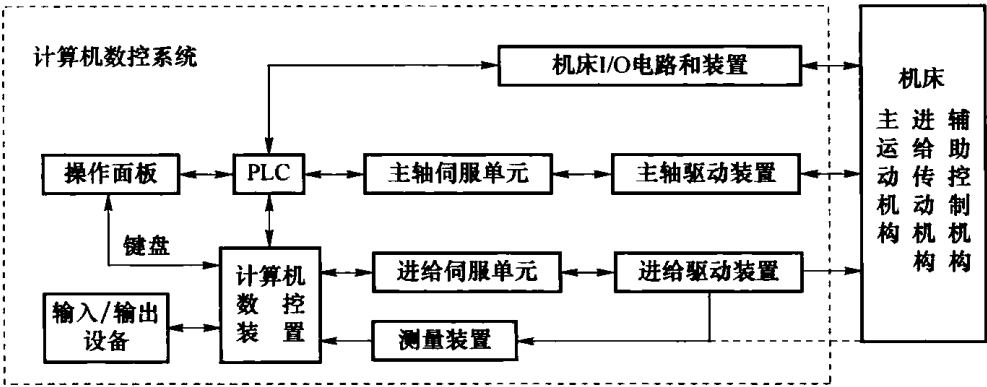


图 1-1 数控机床的组成

(1) 控制介质与程序输入/输出设备

控制介质是记录数控加工程序的媒介,是人与机床建立联系的介质。程序输入/输出设备是 CNC 系统与外部设备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在相应的介质上。常用的输入/输出装置有软盘驱动器、RS-232 串行通信接口和 MDI 方式等。

(2) 数控装置

数控装置是数控机床的核心,包括微型计算机系统、各种接口电路、显示器等硬件及相应的软件。其作用是接收由输入设备输入的各种数字信息,经过编译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制机床各部分,使其按程序要求实现规定的有序运动和动作。

(3) 伺服系统

伺服系统是数控装置和机床的联系环节,包括进给伺服驱动装置和主轴伺服驱动装置。进给伺服驱动装置由进给控制单元、进给电动机和位置检测装置组成,并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它的作用是接收数控装置输出的指令脉冲信号,驱动机床的移动部件(刀架或工作台)按规定的轨迹和速度移动或精确定位,加工出符合图样要求的工件。每一个指令脉冲信号使机床移动部件产生的位移量称为脉冲当量,常用的脉冲当量有 0.01 mm/脉冲、0.005 mm/脉冲、0.001 mm/脉冲等。

主轴伺服装置由主轴驱动单元和主轴电动机组成。主要作用是实现零件的加工能力切削运动,其控制量为速度,是数控机床的最后控制环节,它的性能直接影响数控机床的加工精度、表面质量和生产效率。

(4) 辅助控制装置

辅助控制装置的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、换向和启动停止指令,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。

由于可编程逻辑控制器(PLC)具有响应快,性能可靠,易于使用,可编制和修改程序,并可直接启动机床开关等特点,现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

(5) 机床本体

机床本体是数控系统的控制对象,是实现零件加工的执行部件。其主要由主运动部件(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)、支撑件(立柱、床身等),以及特殊装置(刀具自动交换系统、工件自动交换系统)和辅助装置(如排屑装置等)组成。

2. 数控机床的加工原理

数控机床的加工过程如图 1-2 所示。

① 准备阶段 根据对加工零件图纸进行工艺分析,确定加工方案,选择合适的机床、刀具及夹具,确定合理的走刀路线及切削用量等。

② 编程阶段 根据确定的加工信息,按照数控装置规定的指令和程序格式,编写数控加工程序单。

③ 准备信息载体 将加工程序存储在控制介质(穿孔带、磁带、U 盘等)上,通过信息载体将全部加工信息传给数控系统。当数控加工机床与计算机联网时,可直接将信息载入数控系统。

④ 加工阶段 数控装置将加工程序语句进行译码、寄存和运算,转换成驱动各运动部件顺序动作的指令,在系统的统一协调下驱动各运动部件实现运动,自动完成对工件的加工。

由此可见,数控加工原理就是将数控加工程序以数据的形式输入数控系统,通过译码、刀补计算、插补计算来控制各坐标轴的运动,通过 PLC 的协调控制,实现零件的自动加工。

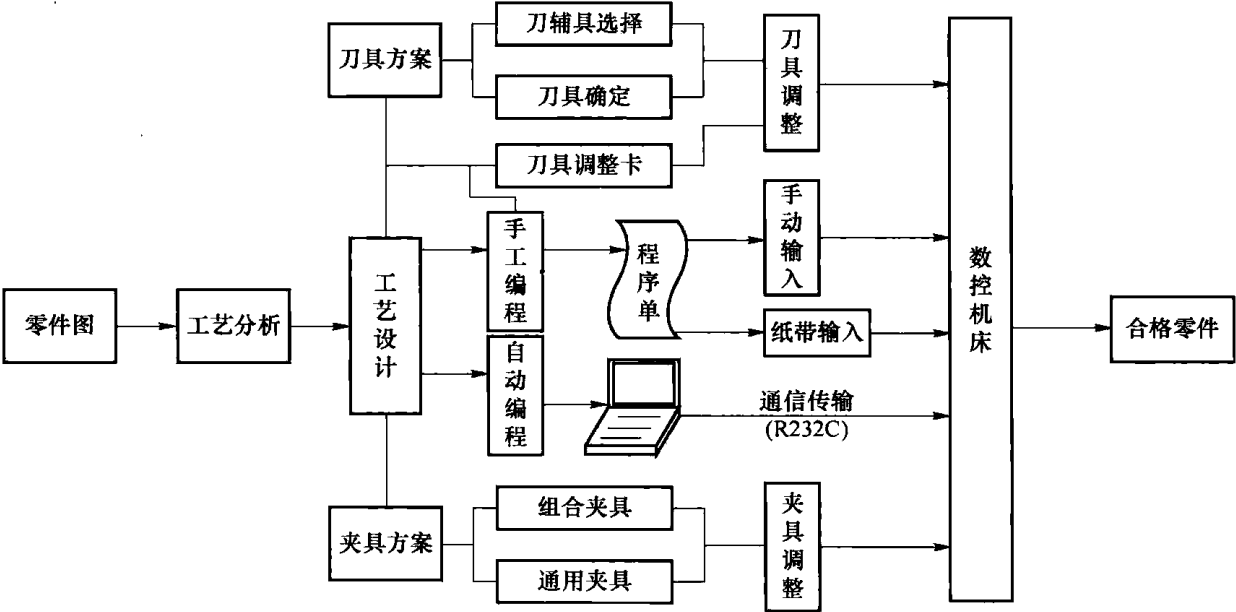


图 1-2 数控机床的加工原理

1.2.2 数控机床的分类

目前数控机床的品种繁多,功能各异,通常可按下列方法进行分类。

1. 按控制功能分类

(1) 点位控制数控系统

点位控制数控系统又称点到点控制数控系统,如图 1-3 所示。这类系统仅能控制两个坐标轴带动刀具或工作台,从一个点准确地快速移动到下一个点,然后控制第三坐标轴进行钻、镗等切削加工。点位控制的数控机床在刀具的移动过程中,并不进行加工,而是做快速空行程的定位运动,所以对运动轨迹没有要求。

属于点位控制的数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床和三坐标测量仪等。

(2) 直线控制数控系统

直线控制数控系统是控制刀具或机床工作台以适当速度,沿着平行于某一坐标轴方向或与坐标轴成 45°的斜线方向进行直线加工的控制系统。该系统不能沿任意斜率的直线进行直线加工。如图 1-4 所示为直线控制数控系统。

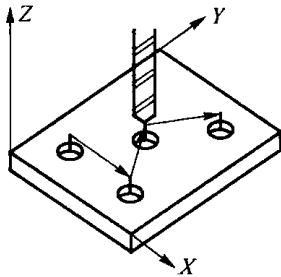


图 1-3 点位控制数控系统

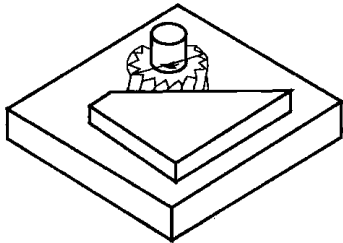


图 1-4 直线控制数控系统

直线控制数控系统一般具有主轴转速控制、进给速度控制和沿平行于坐标轴方向直线循

环加工的功能。一般的简易数控系统均属于直线控制系统。

将点位控制和直线控制结合起来的控制系统称为点位直线控制系统,该系统同时具有点位控制和直线控制的功能。此外,有些系统还具有刀具选择、刀具长度和刀具半径补偿功能。采用点位直线控制系统的数控机床有数控镗铣床和数控加工中心等。

(3) 轮廓控制数控系统

轮廓控制数控系统又称连续控制数控系统,该系统能对刀具相对于零件的运动轨迹进行连续控制,以加工任意斜率的曲线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线。这种系统一般都是两坐标或两坐标以上的多坐标联动控制系统,其功能齐全,可加工任意形状的曲线或型腔。如图1-5所示为连续控制系统。

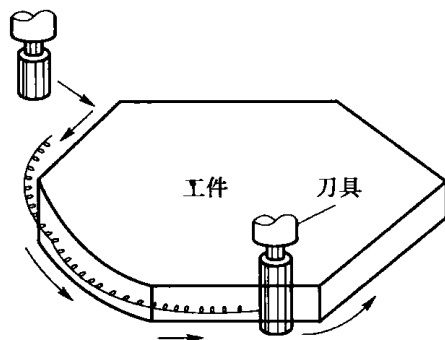


图 1-5 轮廓控制数控系统

采用连续控制系统的数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心、数控凸轮磨床和数控线切割机床等,现在的数控机床基本上都是这种类型。

2. 按进给伺服系统的类型分类

(1) 开环伺服系统

开环数控机床采用开环进给伺服系统,图1-6所示为采用步进电动机驱动的开环伺服系统原理图。它一般是由环形分配器、步进电动机功率放大器、步进电动机、齿轮箱、丝杠螺母传动副等组成。每当数控装置发出一个指令脉冲信号,就使步进电动机的转子旋转一个固定角度(步距角),则机床工作台将移动一定的距离(脉冲当量)。

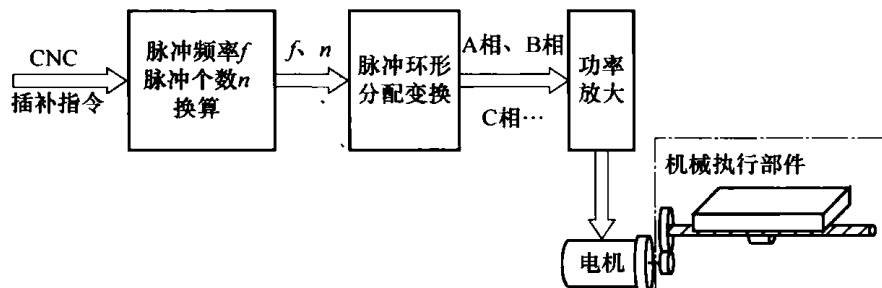


图 1-6 开环伺服系统原理图

开环伺服系统既没有工作台位移检测装置,又没有位置反馈和校正控制系统,所以工作台的位移精度完全取决于步进电动机的步距角精度、齿轮箱中齿轮副和丝杠螺母副的精度与传动间隙等,由此可见,这种系统很难保证较高的位置控制精度。同时,由于受步进电动机性能的影响,其速度也受到一定的限制。但这种系统结构简单、调试方便、工作可靠、稳定性好、价格低廉,因此被广泛用于精度要求不太高的经济型数控机床。

(2) 闭环伺服系统

闭环系统数控机床的进给伺服系统如图1-7所示。它主要是由比较环节(直线位移传感器和放大元件、速度传感器和放大元件)、驱动元件、机械传动装置和测量装置等组成。闭环进给伺服系统直接对工作台的实际位置进行检测。理论上讲,可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量,具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的,很容易造成系统不稳定。因此闭环系统的设计、安装和调试都有相当的难度,对其组成环节的精度、刚性和动态特性等都有较高的要求,价格昂贵,维护费

用也较高。

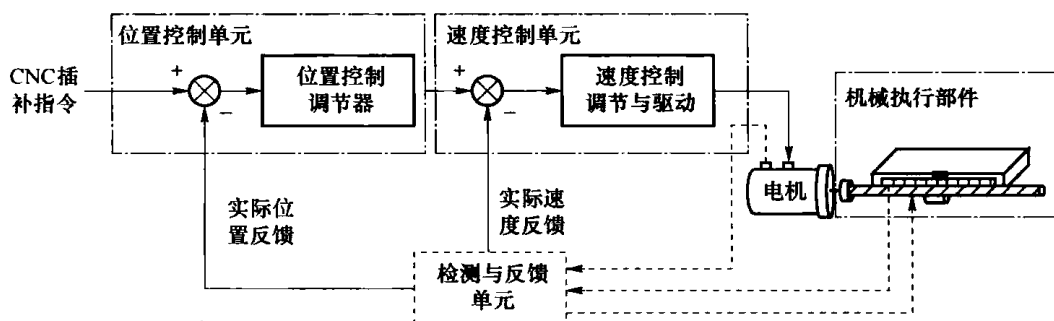


图 1-7 闭环进给伺服系统

这类系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及大型的数控机床等。

(3) 半闭环伺服系统

半闭环数控机床的进给伺服系统如图 1-8 所示。半闭环系统的位置检测点是从驱动电动机或丝杠端引出,通过检测电动机和丝杠旋转角度来间接检测工作台的位移量,而不是直接检测工作台的实际位置。由于这种系统不包括或只包括少量的机械传动环节,不能完全补偿该部分装置的传动误差,因此,虽然半闭环伺服系统的加工精度低于闭环伺服系统的加工精度,但可获得较闭环稳定的控制性能。

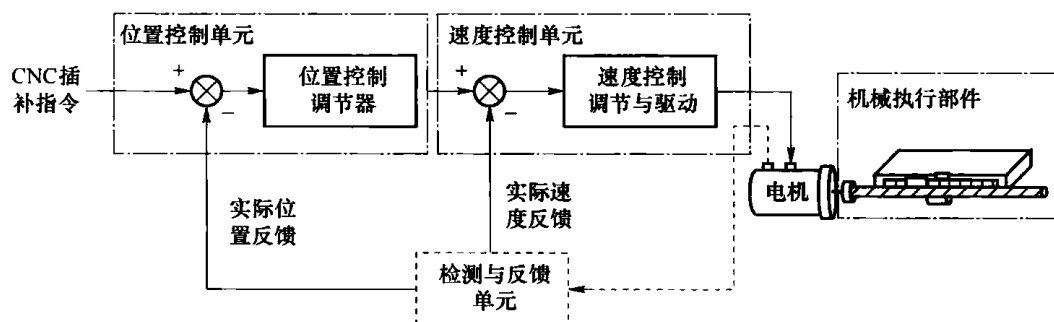


图 1-8 半闭环伺服系统

另外,角位移的测量元件比直线位移的测量元件简单,价格也较低,如选用传动精度较高的滚珠丝杠和精密消隙齿轮副,再配备存储有螺距误差补偿和反向间隙补偿功能的数控装置,那么半闭环伺服系统仍能达到较高的加工精度,在现代 CNC 机床中得到了广泛的应用。

3. 按控制坐标数(轴数)分类

按计算机数控装置能同时联动控制的机床坐标轴的数量,分为两坐标数控机床、两轴半坐标数控机床、三坐标数控机床和多坐标数控机床。

(1) 两坐标数控机床

两坐标数控机床是指同时控制两个坐标联动的数控机床,如数控车床中的数控装置可同时控制 X 和 Z 方向的运动,实现两坐标联动,用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。如图 1-9 所示为数控铣床在两轴联动控制下加工图示形状的零件沟槽。

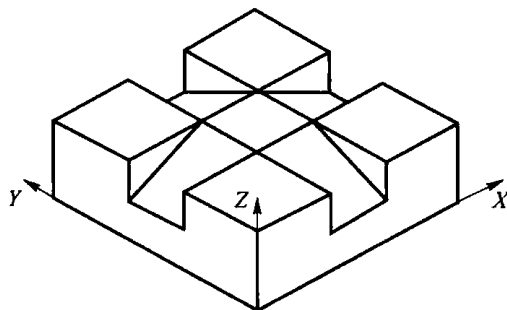


图 1-9 两坐标联动加工沟槽零件