

数控加工技术

(第4版)

● 主 编 卢万强 苟建峰



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数控加工技术

(第4版)

主 编 卢万强 苟建峰

参 编 杨保成 喻廷红 罗忠良



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书共分8章:第1章数控加工概述,第2章数控加工工艺基础,第3章数控加工程序编制基础,第4章数控车削工艺与编程,第5章数控铣削工艺与编程,第6章变量编程及用户宏程序,第7章数控电火花加工技术,第8章先进制造技术概述。本次修订作了较大修改,层次更清晰,内容更详细,更加强化适用性。每章后附有适当的练习与思考题,以便于学生复习巩固所学知识。

本书可以作为高等院校数控技术专业、机电一体化技术专业、机械制造与自动化专业的教材,也可作为大专、职大、电大师生及工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/卢万强,苟建峰主编.—4版.—北京:北京理工大学出版社,2019.8

ISBN 978-7-5682-7355-8

I. ①数… II. ①卢… ②苟… III. ①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(2019)第168598号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/18.5

字 数/430千字

版 次/2019年8月第4版 2019年8月第1次印刷

定 价/69.00元

责任编辑/多海鹏

文案编辑/多海鹏

责任校对/周瑞红

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

随着科学技术的发展,机械制造技术发生了较大的变化,数控加工技术则是促进制造技术发展的重要手段。随着智能制造技术的高速发展,数控加工技术也必将有更加广泛的应用,数控加工技术水平已成为衡量工业现代化的重要标志。

本书在修订中更加突出高等教育特点,增强了实用性和素质培养。除了保留传统的数控加工基本理论和技能之外,还融入了现代制造技术的新材料、新工艺,坚持以数控加工过程为主线,遵循人的认知规律,从机械加工的生产实际过程出发,将数控加工的基本理论知识、数控工艺、数控编程、数控夹具、数控刀具、现代监测技术及数控加工质量控制等内容融合在一起,详细介绍了数控车削加工技术、数控铣削加工技术以及数控电火花加工技术等制造工艺与编程内容,并在阐明概念的基础上突出实用技术的应用性。全书共分8章:第1章数控加工概述,主要讲述数控加工技术的相关概念,数控机床的工作原理、分类、加工特点及应用范围,数控技术的现状和发展趋势;第2章数控加工工艺基础,主要讲述数控机床、刀具、夹具、切削用量等;第3章数控加工程序编制基础,主要讲述数控程序编制的基础知识、数控加工坐标系、程序的规划和程序格式、加工路线的设计等;第4章数控车削工艺与编程,主要讲述数控车削加工的工艺实施过程和程序编制方法,并结合典型零件,以项目式方法讲解具体应用;第5章数控铣削工艺与编程,主要讲述数控铣削加工的工艺实施过程和程序编制方法,并结合典型零件,以项目式方法讲解具体应用;第6章变量编程及用户宏程序,主要讲述变量的定义、类型,变量编程的方法以及用户宏程序的具体应用;第7章数控电火花加工技术,主要讲述数控电火花线切割机床机构、工作原理和编程方法;第8章先进制造技术概述,主要介绍数控高速加工、多轴加工和柔性制造技术的基本概念、原理和加工思路。

本书由卢万强担任主编,具体分工如下:卢万强编写第1~第3章,罗忠良编写第4章,苟建峰编写第5章,杨保成编写第6章,喻廷红编写第7和第8章。

在编写过程中,编者参阅了国内外出版的有关教材和资料,同时引用了一些网上相关资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 数控加工概述	1
1.1 数控加工的基本概念	1
1.1.1 数控技术的产生	1
1.1.2 数控加工的基本概念	2
1.1.3 数控加工的适应范围	4
1.1.4 现代制造对数控加工技术的要求	5
1.2 数控机床的组成	7
1.3 常见数控机床的类型	12
1.4 数控加工的工作流程	14
练习与思考题	15
第2章 数控加工工艺基础	16
2.1 数控加工工艺概述	16
2.1.1 数控机床加工特点	16
2.1.2 数控加工工艺特点	17
2.2 数控加工工艺设计的基本内容	19
2.2.1 选择适合数控加工的零件	19
2.2.2 确定零件数控加工的内容	20
2.2.3 数控加工的工艺性分析	20
2.2.4 数控加工阶段及工序的划分	22
2.2.5 加工余量的确定	24
2.2.6 加工方法的选择和加工路线的确定	25
2.2.7 工件的定位、装夹和夹具选择	31
2.2.8 数控刀具的选择	32
2.2.9 对刀点与换刀点的确定	35
2.2.10 切削用量的选择	35
2.2.11 加工程序的编制、校验和首件试切	38
2.2.12 数控加工工艺文件的归档	40
练习与思考题	44

第3章 数控加工程序编制基础	45
3.1 数控机床的坐标系统	45
3.1.1 标准坐标轴及其运动方向	46
3.1.2 数控加工常用坐标系	47
3.2 数控编程的步骤	49
3.2.1 数控编程的种类	49
3.2.2 手工编程的步骤	52
3.3 数控加工程序的结构	54
3.3.1 字符和代码	54
3.3.2 程序字及其功能	55
3.3.3 程序段格式	58
3.4 程序规划的基本内容	59
3.4.1 原始信息及处理	60
3.4.2 生产能力评估	60
3.5 数控编程中的数学处理	62
3.5.1 数学处理的内容	62
3.5.2 数控加工编程误差	66
练习与思考题	67
第4章 数控车削工艺与编程	68
4.1 数控车削加工概述	68
4.1.1 数控车削加工的主要对象	68
4.1.2 数控车削加工工艺特点	69
4.1.3 数控车床的分类与选择	75
4.1.4 数控车刀的类型及选用	79
4.1.5 数控车削工艺路线的制定原则	83
4.1.6 数控车削的切削用量选择	84
4.2 数控车削的编程指令	86
4.2.1 数控车削的编程特点	87
4.2.2 数控车削工件坐标系 (G50/G54)	88
4.2.3 编程方式 (G90/G91)	89
4.2.4 进给功能 (G98/G99)	90
4.2.5 主轴转速功能 (G97/G96/G50)	90
4.2.6 刀具功能代码 (T)	91
4.2.7 辅助功能代码 (M)	91
4.2.8 机床参考点 (G27/G28/G29)	92

4.2.9 插补平面指令 (G17/G18/G19)	93
4.2.10 基本运动 G 指令 (G00/G01/G02/G03)	94
4.2.11 暂停指令 (G04)	96
4.2.12 数控车削的刀具补偿 (G41/G42)	96
4.2.13 数控车削螺纹 (G32/G92)	100
4.2.14 数控车削复合固定循环 (G71/G72/G73/G70/G76)	104
4.3 数控车削编程综合实例	112
4.3.1 轴类零件的编程实例	112
4.3.2 轴套类零件的编程实例	125
练习与思考题	130
第 5 章 数控铣削工艺与编程	133
5.1 数控铣削加工概述	133
5.1.1 数控铣削加工的主要对象	133
5.1.2 数控铣床的组成及分类	135
5.1.3 数控铣削刀具的类型及选用	140
5.1.4 数控铣削工艺路线的制定	147
5.1.5 数控铣削切削用量选择	150
5.1.6 确定装夹方法	152
5.2 数控铣削的编程指令	153
5.2.1 数控铣削的编程特点	153
5.2.2 数控铣削编程坐标系的建立 (G54/G92)	155
5.2.3 进给速度设定 (G94/G95)	157
5.2.4 数控加工中心换刀控制 (M06)	158
5.2.5 数控铣削刀具半径补偿 (G41/G42/G40)	159
5.2.6 数控铣削刀具长度补偿 (G43/G44/G49)	162
5.2.7 数控铣削加工转角控制 (G64/G09/G61/G62/G63)	164
5.2.8 孔加工固定循环功能	165
5.2.9 子程序 (M98/M99)	179
5.2.10 坐标系旋转功能 (G68/G69)	182
5.2.11 极坐标指令 (G16/G15)	185
5.2.12 比例镜像指令	187
5.3 数控铣削加工编程综合实例	190
练习与思考题	202
第 6 章 变量编程及用户宏程序	204
6.1 变量编程概述	204

6.1.1	变量编程基础	204
6.1.2	变量编程的控制方式	207
6.2	变量编程及用户宏程序应用举例	209
	练习与思考题	213
第7章 数控电火花加工技术		215
7.1	数控电火花加工概述	215
7.1.1	数控电火花加工原理	215
7.1.2	数控电火花加工的特点	217
7.1.3	数控电火花加工的分类	217
7.2	数控电火花线切割加工基础	219
7.2.1	数控电火花线切割加工原理	219
7.2.2	数控电火花线切割加工的分类和特点	220
7.2.3	数控电火花线切割加工工艺基础	221
7.3	数控电火花线切割加工编程	228
7.3.1	3B 编程	228
7.3.2	ISO 码编程	230
7.4	数控电火花线切割编程举例	237
7.5	数控电火花成形加工	241
7.5.1	数控电火花成形加工原理	241
7.5.2	数控电火花成形加工的特点	242
7.5.3	数控电火花成形加工工艺基础	242
7.5.4	数控电火花成形加工编程	245
	练习与思考题	247
第8章 先进制造技术概述		248
8.1	高速切削技术概述	248
8.1.1	高速切削加工机床的特点	249
8.1.2	高速切削加工的刀柄和刀具	250
8.1.3	高速加工工艺	251
8.1.4	高速切削数控编程的特点	253
8.2	自动编程技术概述	254
8.2.1	自动编程原理及类型	254
8.2.2	自动编程软件系统概述	255
8.3	柔性制造技术概述	258
8.3.1	柔性制造的分类及特点	258
8.3.2	柔性制造在制造业中的作用	259



8.3.3 柔性制造技术的发展	260
附录	262
附录1 SINUMERIK 840D 控制系统代码及含义	262
附录2 SINUMERIK 802S/C 数控车床系统的常用 G 代码	271
附录3 FAGOR8055T 系统常用的 G 代码	273
附录4 世纪星 HNC-21M 数控铣床 G 代码功能	275
附录5 世纪星 HNC-21T 数控车床 G 代码功能	277
附录6 数控铣床常见辅助代码	278
附录7 常见数控车床辅助代码	279
参考文献	280



第 1 章

数控加工概述

1.1

数控加工的基本概念

1.1.1 数控技术的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展,机械产品的结构越来越复杂,产品更新越来越快,因此对加工机械产品的生产设备提出了更高(高性能、高精度和高自动化)的要求。传统的普通机床、专用机床、仿形机床已经不再满足加工需要。为此,一种新型的数字程序控制机床应运而生,它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批量生产,特别是复杂型面零件的生产提供了自动化加工手段。数字控制技术(简称数控技术)于20世纪中期在美国率先开始研究,是为了适应航空工业制造复杂零件的需要而产生的。1948年,美国帕森斯公司(Parsons Co.)接受美国空军委托,研制直升机叶片轮廓用样板的加工设备。在制造飞机框架及直升机叶片轮廓用样板时,利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理,并考虑了刀具直径对加工路径的影响,提高了加工精度。1949年,帕森斯公司在麻省理工学院(MIT)伺服机构试验室的协助下开始从事数控机床的研制工作,经过三年时间的研究,于1952年试制成功世界第一台数控机床试验性样机。这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,即数控机床的第一代。1955年,美国空军花费巨额经费订购了大约100台数控机床,此后两年,数控机床在美国进入迅速发展阶段,市场上出现了商品化数控机床。1958年,美国克耐·杜列克公司(Keaney Trecker)在世界上首先研制成

功带自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”(Machining Center, MC)。

数控技术的发展过程见表1-1。

表1-1 数控技术的发展过程

发展阶段		时间	特点
硬件数控 (NC)	第1代	1952年	采用电子管
	第2代	1959年	采用晶体管元件和印制电路板
	第3代	1965年	采用小规模集成电路
软件数控 (CNC)	第4代	1970年	采用小型计算机
	第5代	1974年	采用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(MNC)
	第6代	20世纪90年代	采用PC+CNC的数控系统

1.1.2 数控加工的基本概念

1. 基本术语

现代的机械加工装备已经广泛采用数控设备,为了讨论方便,下面给出几个重要的概念。

数控(NC)是数字控制(Numerical Control)的简称,是借助数字、字符或其他符号对某一个工作过程(如加工、测量或者装配等)进行可编程控制的自动化方法。目前数控一般是采用通用或专用计算机来实现数字程序控制,因此数控也称为计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)。

数控技术(Numerical Control Technology)是指采用数字控制的方法对某一个工作过程实现自动控制的技术。在机械加工过程中使用数控机床时,可将其运行过程数字化,这些数字信息包含了机床刀具的运动轨迹、运行速度及其他工艺参数等,而这些数据可以根据要求很方便地实现编辑修改,满足了柔性化的要求。它所控制的通常是位移、角度、速度等机械量或与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体及二进制形式数据运算的出现,数控技术的发展与计算机技术的发展是紧密相连的。

数控系统(Numerical Control System)是实现数控技术相关功能的软、硬件模块的有机集成系统。相对于模拟控制而言,数字控制系统中的控制信息是数字量,模拟控制系统中的控制信息是模拟量,数字控制系统是数控技术的载体。其特点是可以不用不同的字长表示不同精度的信息,可以进行算术运算、逻辑运算等,也可以进行复杂的信息处理,还可以通过软件改变信息处理的方式和过程,因而具有较大的柔性。数字控制系统已经广泛用于机床、自动生产线、机器人、雷达跟踪系统等自动化设备。

数字设备是指某一设备(机床、工业机器人等)实现其自动工作过程的控制信息采用的是数字化信息。数控设备是目前设备制造的方向,特别是数控机床,其是集光、机、电、液等的高技术加工设备,价格较高,维修、维护困难,加工中的编程和机床调整复杂,因此需要具有数控技术基础知识的技能型人才来操作和维护。

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是采用数字控制技术对机床的加工过程进

行自动控制的一类机床,是数控设备的一种。数控机床是机电一体化的典型产品,是集机床、计算机、电机及拖动、自动控制、检测等技术为一体的自动化设备,使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现均可通过计算机软件来完成。从外观及布局来看,数控机床除了具有与其对应的普通机床的床身、导轨、主轴、工作台及刀架等相同或相似的机床主体外,还具有普通机床所不可能配置的两大部分,即对机床进行指挥、控制的计算机数控装置和驱动机床运动的机构,包括机床主轴伺服驱动及进给机构实施位移的进给伺服系统。图1-1所示为五轴数控机床。



图1-1 五轴数控机床

2. 数控加工与传统加工

图1-2所示为传统加工与数控加工的比较。在普通机床上进行零件加工时,操作者根据工序卡的要求操作机床,并同步地不断调整刀具与工件的相对运动轨迹和加工参数,完成切削加工,获得合格的产品,整个加工过程完全取决于操作者的习惯和技术水平。

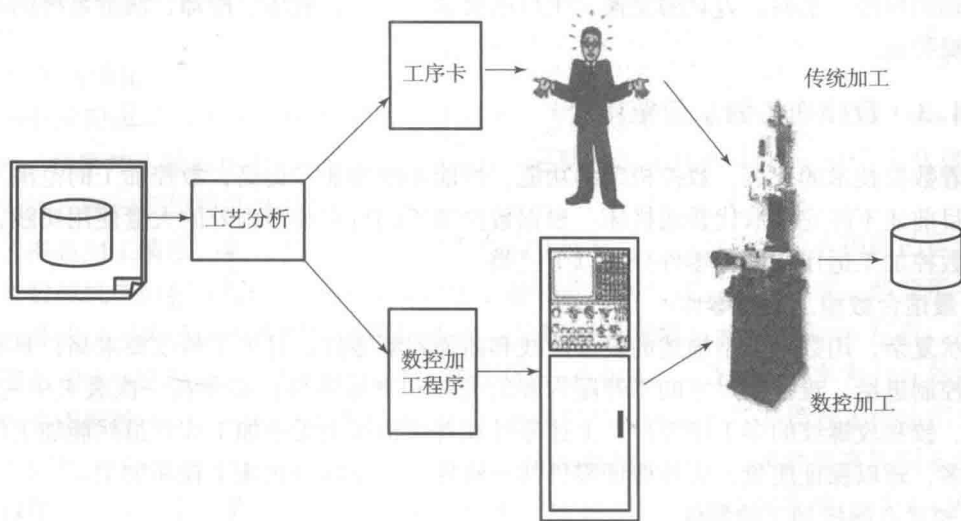


图1-2 传统加工与数控加工的比较

在数控机床上加工零件时,首先要将刀具和工件的相对运动轨迹,以及加工过程中的主轴速度和进给速度的变换、切削液的开关、工件的夹紧和松开、刀具的交换等几何信息和工艺信息数字化,通过计算机按规定的代码和格式编写成加工程序,然后将程序送入数控系统,数控系统按照程序的要求进行相应的运算、处理,输出控制命令,使各坐标轴、主轴以及辅助动作协调运动,实现刀具与工件的相对运动及零件的自动加工,其加工过程绝大部分是由数控系统的自动控制实现的。

3. 数控加工过程信息的处理和流程

数控加工过程信息的处理和流程如图 1-3 所示。



图 1-3 数控加工过程信息的处理和流程

数控加工时,首先要对数控加工程序进行解释(译码),以程序段为单位转换成刀补处理程序所要求的数据结构(格式),该数据结构用来描述一个程序段解释后的数据信息,主要包括: X、Y、Z 坐标值;进给速度;主轴转速;G 代码;M 代码;刀具信息;子程序处理和循环调用处理等数据或标志的存放顺序和格式。另外,数控加工程序一般是按照零件轮廓编写的,而数控机床在加工过程中控制的是刀具中心或者假想刀尖点的运动轨迹,因此加工前必须将零件轮廓转换成刀具中心或刀尖点的运动轨迹,即要先进行刀具补偿的处理,然后以系统规定的插补周期进行定时运动,将零件的各种线型(直线或圆弧等)组成的零件轮廓,按照程序给定的进给速度,实时计算出各个坐标轴在插补周期内的位移指令,并送给伺服系统,实现成形运动。同时逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)以 CNC 内部或机床各行程开关、传感器、继电器等开关量信号为条件,按照预先设定的逻辑顺序对诸如主轴的启停、换向,刀具的交换,工件的夹紧、松开,液压、冷却、润滑系统的运行等进行逻辑控制。

1.1.3 数控加工的适应范围

随着数控技术的发展,数控机床的功能、性能不断增加和提高,数控加工的范围不断扩大,但目前还不能完全取代普通机床。根据数控加工的特点和国内外的大量使用实践,一般可按照数控加工适用程度将零件分成以下三类。

1. 最适合数控加工的零件

形状复杂,用数学模型描述的复杂曲线和曲面轮廓零件,且加工精度要求高;具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体和盒形零件;必须在一次装夹中完成铣、镗、铰、钻和攻螺纹的多工序零件。上述零件在普通机床上无法加工或者虽然能加工但需要的工时多,难以保证质量,更难保证零件的一致性,但在数控机床上较易加工。

2. 较适合数控加工的零件

在普通机床上加工时易受人因素(如情绪波动、体力强弱和技术水平等)干扰,且

价值较高,一旦质量失控造成的经济损失重大的零件;在普通机床上加工必须专门设计复杂工艺装备的零件;需要多次更改设计后才能定型的零件;在普通机床上加工需要长时间调整的零件;在普通机床上加工生产率很低和体力劳动强度较大的零件。这几类零件在分析完可加工性之后,还要在提高生产率和经济效率方面做综合衡量,一般可以把它们作为数控加工的主要选择对象。

3. 暂不适合数控加工的零件

对于批量大,加工余量很不稳定,必须用特定的工艺装备协调加工的零件,采用数控加工后在加工效率和经济效率方面无明显改善的暂不适合数控加工,但随着数控加工技术的发展、数控机床品种的增加、数控加工功能的改善、数控加工效率的提高、数控机床成本的下降,特别是数控自动生产线(FMS)的出现和应用,不适合数控加工的零件会越来越少。

1.1.4 现代制造对数控加工技术的要求

进入21世纪后,数控加工技术出现了一些新的特征:产品绿色化,提供的产品在全寿命周期资源消耗低,无污染或少污染,以及可回收或可重用;参数极端化,产品向高效、高参数、大型化或微型化、成套化的方向发展;生产过程自动化,并向信息化、柔性化方向发展;需求个性化,用户对产品的需求多样化、分散化和个性化,未来的市场需求更加趋于动态多变;产业集群化,同类企业或相近企业在同一地区高度聚集,形成集群化的竞争优势;业务服务化,服务在价值链中的比重大幅上升,制造业不仅要为客户提供有形的装备,还要提供越来越好的服务。为此,对数控加工技术提出了更高的要求。

1. 提高运行速度,缩短加工时间

实现高效的高速加工已经成为现代加工技术的重要发展趋势。运行高速化是指:进给率、主轴转速、刀具交换速度、托盘交换速度等实现高速化,并具有高加(减)速率。

高速加工不仅是指加工设备,而是机床、刀具、夹具、数控系统和编程技术的高度集成,机床的高速化需要新的数控系统、高速主轴和高速伺服进给驱动,以及机床结构的优化和轻量化。

2. 加工高精化

近半个世纪以来,加工精度几乎每8年提高1倍,普通加工精度已由0.03mm提升至0.003mm,精密加工精度由 $3\mu\text{m}$ 提升至 $0.03\mu\text{m}$,超精密加工则由 $0.3\mu\text{m}$ 提升至 $0.003\mu\text{m}$,目前的轮廓控制和定位精度已经达到了纳米级。

为了提高加工精度,数控机床不仅要有很高的几何精度,而且还必须有很高的运动轨迹精度。对数控机床的精度要求已经不仅仅局限于静态的几何精度、运动精度,热变形与振动的监测和补偿也越来越受到重视。数控机床的定位精度普遍能达到 0.007mm 左右,亚微米级机床能达到 0.0005mm ,纳米级机床能达到 $0.005\sim 0.01\mu\text{m}$,最小分辨率为 1nm 的数控机床也问世并逐渐被使用。除提高数控机床的制造和装配精度外,误差补偿技术的应用也大大减少了数控机床的运动误差。在减少CNC数控系统控制误差方面,通常提高控制系统的分辨率,以微小程序段实现连续进给,使CNC控制单位精细化。提高位置检测精度和位置伺服系统精度可采用前馈控制和非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,除采用齿隙补偿、

丝杠螺距误差补偿和刀具误差补偿等方法以外,近年来对设备的热变形误差补偿与空间误差的综合补偿技术的研究和应用也越来越被重视。有研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 60% ~ 80%。

3. 加工复合化

加工复合化是指工件在一台设备上一次装夹后,通过自动换刀等多种措施,完成多工序、多表面的加工,从而打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。复合加工包括工序复合(车、铣、镗、钻和攻螺纹等)、不同工艺复合(集车、铣、滚齿、磨、淬火等不同工艺的复合加工机床可对大直径、短长度回转体类零件进行复合加工)、切削与非切削工序复合(如铣削与激光淬火装置的复合、冲压与激光切割的复合、金属烧结与镜面切削的复合、加工与清洗融于一台机床的复合等)。复合加工不仅提高了工艺的有效性,而且零件在整个加工过程中只有一次装夹,大大缩短了生产过程链,工序间的加工余量大为减小,既减少了装卸时间、省去了工件搬运、减少了半成品库存,又能保证和提高形位精度。

4. 加工过程智能化

随着人工智能技术的不断发展,数控加工技术智能化程度不断提高,主要表现在以下几方面。

1) 加工过程自适应控制技术

通过监测加工过程中的刀具磨损、破损、切削力、主轴功率等信息的变化并将其反馈,利用数控系统运算,实时调节加工参数和加工指令,使数控机床始终处于最佳状态,以提高加工精度、降低表面粗糙度以及提高设备运行安全性。

2) 加工参数的智能优化和选择

将加工专家和技工的经验、切削加工的一般规律和特殊规律等,按照人工智能中知识的表达方式建立知识智能库存入计算机中,以加工工艺参数数据库为支撑,建立专家系统,并通过它提供的通过优化的切削参数,使加工系统始终处于最优、最经济的工作状态,从而达到提高编程效率和加工工艺水平、缩短生产准备周期的目的。

3) 故障自诊断技术

故障诊断专家系统是诊断装置发展的最新动向,其为数控设备提供了一个包括二次监测、故障诊断、安全保障和经济策略等方面在内的智能诊断和维护决策的信息集成系统。采用智能混合技术,可以在故障诊断中实现以下功能:故障分类、信号提取和特征提取、故障诊断、维护管理。

5. 加工过程网络化

随着信息技术和数字计算机技术的发展,尤其是计算机网络技术的发展,在以网络化、数字化为基本特征的时代,网络化、数字化以及新的制造理念深刻地影响着 21 世纪的制造模式和制造观念。现代加工技术,必须满足网络环境下制造集成系统的要求。具有网络功能的加工技术,可以满足诸如加工过程远程故障诊断、远程状态监测、远程加工信息共享、远程操作(如危险环境加工)和远程培训等。

1.2

数控机床的组成

数控机床是机电一体化的高技术产品,集合了机械制造、计算机技术、伺服驱动及检测技术、可编程控制技术、气动液压等技术。其组成一般包括:输入输出设备、数控装置(CNC)、可编程控制器(PLC)、伺服驱动及检测反馈、辅助装置、机床主体等。数控机床的构成如图1-4所示。

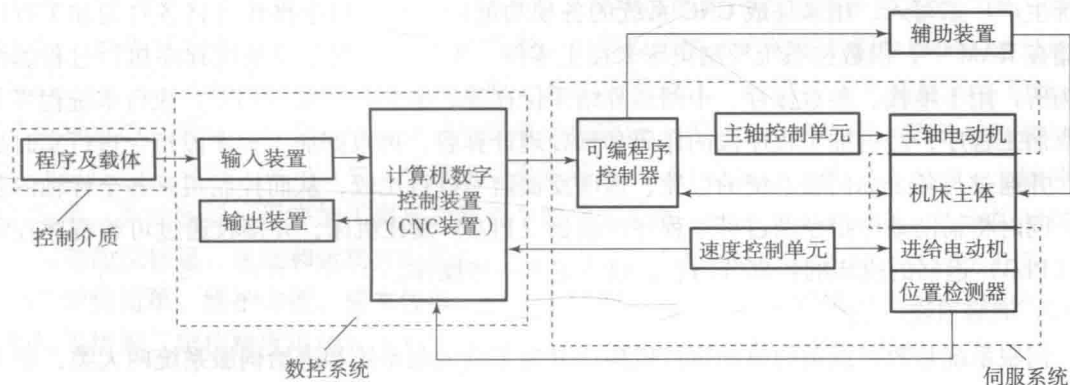


图1-4 数控机床的构成

1. 输入/输出设备及接口

数控设备操作人员与数控系统之间的信息交流过程是通过输入/输出设备或接口来完成的,输入设备的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同,输入设备包括光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。目前数控机床加工程序主要通过键盘用手工方式直接输入数控系统或由编程计算机把零件图通过软件自动转换成加工的程序,然后再传送到数控系统中。

通常采用的通信方式有:

- (1) 串行通信(RS232等串行通信接口);
- (2) 自动控制专用接口和规范(DNC、MAP等);
- (3) 网络技术(Internet、LAN等)。

零件加工程序输入过程有两种方式:一种是边读入边加工(数控系统内存较小时);另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

输出设备的作用是通过显示器把加工过程中必要的信息,如坐标值、报警信号等显示。

2. 数控装置

计算机数控装置(CNC)是机床数控系统的核心,它主要由计算机系统、位置控制、

PLC 接口、通信接口、扩展功能模块以及相应的控制软件等模块组成。CNC 系统的主要任务是将零件加工程序表达的加工信息（几何信息和工艺信息）进行相应的处理（运动轨迹处理、信息输入/输出处理等），然后变换成各进给轴的位移指令、主轴速度指令和辅助动作指令，控制相应的执行部件（伺服单元、驱动装置和 PLC 等），加工出符合要求的零件，所有这些工作都是通过 CNC 装置内的硬件和软件协调配合，合理组织，使数控机床有条不紊的工作而实现的。

计算机数控系统（CNC）硬件结构形式较多，按 CNC 装置中各印制电路板的插接方式可分为大板式结构和功能模板式结构；按 CNC 装置中微处理器的个数可以分为单微处理器和多微处理器结构等，但总的来说，CNC 装置与通用计算机一样，都是由中央处理器（CPU）及存储数据与程序的存储器组成。存储器分为系统控制软件程序存储器（ROM）、加工程序存储器（RAM）及工作区存储器（RAM）。ROM 中的系统控制软件程序是由数控系统生产厂家写入，用来完成 CNC 系统的各项功能的，数控机床操作者将各自的加工程序存储在 RAM 中，供数控系统控制机床来加工零件。工作区存储器是系统程序执行过程的活动场所，用于堆栈、参数保存、中间运算结果保存等。中央处理器（CPU）执行系统程序并读取加工程序，经过加工程序段的译码和预处理计算后，再根据加工程序段指令进行实时插补，并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号进行比较，从而控制机床各坐标轴的位移。同时将辅助动作指令通过可编程序控制器（PLC）发往机床，并接收通过可编程序控制器（PLC）返回的机床的各部分信息，以决定下一步操作。

3. 伺服系统

伺服系统是数控设备的驱动执行机构，分为主轴伺服系统和进给伺服系统两大类，驱动系统接收来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件，以加工出符合图样要求的零件。因此，它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

主轴伺服系统是指机床上带动刀具与工件旋转，产生切削运动且消耗功率最大的运动系统。主轴伺服系统除了控制主轴转速之外，还有一些特殊的控制，如主轴定向控制、恒线速度切削控制以及同步控制和 C 轴控制等。主轴定向控制是指实现主轴在某一固定位置的准确定位功能。同步控制是实现主轴转角和某一进给轴进给量保持某种关系的控制功能；C 轴控制功能是实现主轴转向任意位置的控制功能，如用于车削螺纹。恒线速度控制是指实现切削点（刀具与工件的接触点）的线速度为恒值的控制功能。

进给伺服系统包括进给驱动装置和进给电动机，主要作用是实现零件加工的成形运动，其控制量是速度和位置。它执行由 CNC 发出的进给指令，经变换、放大后，通过驱动装置精确控制执行部件的运动方向、进给速度和位移量，提供切削过程中各坐标轴所需要的转矩。进给电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

进给伺服系统通常由位置控制单元、速度控制单元、驱动单元和机械执行部件等几部分组成，如图 1-5 所示。进给伺服系统是一种精密的位置跟踪与定位系统，按照其位置环路的开放与否，可以分为开环和闭环两种，其中闭环系统按照位置检测元件的安装部位不同可以分为全闭环和半闭环两种。全闭环的位置检测元件安装在进给传动链的末端，半闭环的位置检测元件安装在进给传动链的某个传动元件上。