



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机床数控技术及应用

陈蔚芳 王宏涛 主 编
薛建彬 楼佩煌 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机床数控技术及应用

陈蔚芳 王宏涛 主 编
薛建彬 楼佩煌 副主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统、全面地介绍了数控编程、数控原理、数控机床机械结构方面的知识。全书共分10章,内容包括:数控技术概论、数控加工程序编制基础、数控加工编程方法、计算机数控装置、数控机床的控制原理、检测装置、伺服驱动系统、数控机床的机械结构与装置、分布式数控技术和柔性制造系统。

本书深入浅出,内容丰富,系统性强。在强化理论基础的同时,突出了实践性和先进性。

本书是“十一五”国家级规划教材,可作为高等工科院校机械工程及自动化、机电一体化、飞行器制造工程等专业的本科生教材,也可作为从事数控技术研究与应用的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术及应用/陈蔚芳,王宏涛主编. —北京:科学出版社,2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-022561-0

I. 机… II. ①陈…②王… III. 数控机床-高等学校-教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 108608 号

责任编辑:段博原 孙明星 王向珍/责任校对:朱光光

责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

明辉印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年9月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008年9月第一次印刷 印张: 24 1/2

印数: 1—3 500 字数: 466 000

定价: 34.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

前 言

科学技术的高速发展使制造业发生了根本性的变化,普通机床逐渐被高效率、高精度的现代数控机床所代替,形成了巨大的生产力。数控机床的核心是机床数控技术,其发展和应用的水平标志着一个国家的工业生产能力和科学技术水平,也是实现制造系统自动化、柔性化、集成化、智能化的基础。

《数控技术》作为培养机械工程技术人才的一门专业课程,可使学生获得丰富的机械、控制、检测、编程、数控工艺等方面的基础知识和综合技能,满足社会对数控技术人才的需要。

本书被列为“十一五”国家级规划教材,是与《数控技术》相配套的教材,偏重于数控编程和数控原理,同时兼顾现代数控机床结构、分布式数控技术、柔性制造技术等方面的知识。编写时既注重基础性、系统性、综合性,也考虑应用性和实践性,同时兼顾先进性。文字叙述上力求深入浅出、通俗易懂。

本书共分10章,第1章介绍了数控技术及数控机床的概念、组成、工作原理、分类、新发展;第2章介绍了数控编程方面的基础知识,包括数控工艺、数学处理、常用编程指令、高速加工工艺;第3章介绍了数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心的手工编程方法及自动编程方法,同时介绍了基于UG平台的自动编程方法;第4章介绍了数控装置的硬件和软件结构及可编程控制器在数控系统中的应用;第5章介绍了各种插补方法及其实现步骤,以及刀具半径补偿原理;第6章介绍了数控机床常用的各种检测装置;第7章介绍了应用于数控机床的多种控制电机及其驱动控制方式;第8章介绍了数控机床机械结构的特点、主轴部件、进给传动系统、导轨、自动换刀装置;第9章介绍了分布式数控系统的概念、功能、控制方式、信息采集技术、应用实例;第10章介绍了柔性制造系统的组成、功能、控制调度技术,最后给出了应用实例。

本书第1~3章由陈蔚芳编写,第5章由王宏涛、陈蔚芳编写,第6章、第7章由王宏涛编写,第4章、第8章由薛建彬编写,第9章、第10章由楼佩煌编写。全书由陈蔚芳、王宏涛、楼佩煌统稿和定稿。

南京航空航天大学游有鹏教授、范炳炎教授、竺钦尧教授和南京数控机床有限公司孙序泉教授级高工对本书进行了审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

在本书编写过程中,何磊工程师提供了部分编程例题和工艺素材,倪丽君硕士生完成了书中大部分图形的绘制、部分文字的录入和整理工作,云乃彰教授、冷晟副教

授、史建新工程师也提供了部分材料,对他们的大力支持同样表示感谢!

在此,还要向南通科技投资集团有限公司(原南通机床厂)、无锡桥联数控机床有限公司等单位表示感谢,感谢他们为本书提供了相关资料。

另外,本书编写时还参阅了大量相关文献和教材,在此向相关作者、编者表示感谢!

机床数控技术仍有许多理论需要进一步研究和完善。同时由于编者学识水平有限,成书时间仓促,因此书中难免有不足或不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年4月

目 录

前言

第 1 章 数控技术概论	1
1.1 数控技术的基本概念	1
1.2 机床数控技术的组成	1
1.2.1 机床本体	1
1.2.2 数控系统	2
1.2.3 外围技术	4
1.3 数控加工零件的过程	4
1.4 数控机床的特点与分类	6
1.4.1 数控机床的特点	6
1.4.2 数控机床的分类	7
1.5 数控技术的发展趋势.....	12
复习思考题	15
第 2 章 数控加工程序编制基础	16
2.1 概述.....	16
2.1.1 数控编程的基本概念	16
2.1.2 数控编程的内容和步骤	16
2.1.3 数控编程的方法	18
2.1.4 数控机床坐标系	18
2.1.5 加工程序结构与格式	21
2.2 数控编程中的常用指令.....	23
2.2.1 准备功能 G 代码	23
2.2.2 辅助功能 M 代码.....	31
2.2.3 F、S、T 代码	33
2.3 数控编程中的工艺处理.....	34
2.3.1 数控加工工艺的特点与内容	34
2.3.2 数控加工零件或加工内容的选择	35
2.3.3 数控加工工艺性分析	36
2.3.4 数控加工工艺路线的设计.....	37
2.3.5 数控加工工序的详细设计.....	38

2.4	高速加工及其工艺处理	51
2.4.1	高速加工概述	51
2.4.2	高速加工中的工艺处理	52
2.5	数控编程中的数学处理	56
2.5.1	直线、圆弧类零件的数学处理	56
2.5.2	非圆曲线节点坐标计算	57
2.5.3	列表曲线轮廓零件的数学处理	62
2.5.4	列表曲面轮廓零件的数学处理	65
2.5.5	刀位点轨迹的计算	67
	复习思考题	70
第3章	数控加工编程方法	72
3.1	概述	72
3.2	手工编程方法	73
3.2.1	数控车床编程方法及编程实例	73
3.2.2	数控铣床编程方法及编程实例	92
3.2.3	数控线切割机床编程方法及编程实例	100
3.2.4	加工中心编程方法及编程实例	109
3.2.5	宏程序编程方法	121
3.3	自动编程方法	127
3.3.1	概述	127
3.3.2	主要 CAD/CAM 系统简介	128
3.3.3	图形交互编程的主要过程	131
3.3.4	图形交互编程实例	132
	复习思考题	136
第4章	计算机数控装置	140
4.1	概述	140
4.2	计算机数控装置的硬件结构	140
4.2.1	单微处理器结构	140
4.2.2	多微处理器结构	142
4.2.3	开放式数控系统	144
4.2.4	嵌入式数控系统	145
4.3	计算机数控装置的软件结构	146
4.3.1	CNC 装置的软件组成	146
4.3.2	CNC 系统软件的工作过程	146
4.3.3	CNC 系统的软件结构特点	147

4.4 数控机床的可编程控制器	151
4.4.1 数控机床中可编程控制器实现的功能	151
4.4.2 PLC、CNC 与数控机床的关系	152
4.4.3 PLC 在数控机床上的应用举例	153
4.5 典型的 CNC 系统简介	155
4.5.1 FANUC 公司的主要数控系统	155
4.5.2 SIEMENS 公司的主要数控系统	159
复习思考题	163
第 5 章 数控机床的控制原理	165
5.1 概述	165
5.1.1 插补的基本概念	165
5.1.2 插补方法的分类	165
5.2 逐点比较法	168
5.2.1 逐点比较法直线插补	169
5.2.2 逐点比较法圆弧插补	171
5.2.3 逐点比较法的速度分析	176
5.3 数字积分法	177
5.3.1 DDA 法直线插补	178
5.3.2 DDA 法圆弧插补	181
5.3.3 提高 DDA 法插补质量的措施	185
5.3.4 其他函数的 DDA 法插补运算	190
5.4 直线函数法	191
5.4.1 直线函数法直线插补	191
5.4.2 直线函数法圆弧插补	192
5.5 扩展数字积分法	193
5.5.1 扩展 DDA 法直线插补	194
5.5.2 扩展 DDA 法圆弧插补	195
5.6 曲面直接插补	197
5.6.1 实现 SDI 的软件系统结构和工作流程	198
5.6.2 SDI 算法的基本原理	199
5.6.3 SDI 的信息输入	202
5.6.4 曲面直接插补的技术关键	203
5.7 刀具半径补偿	204
5.7.1 B 刀具半径补偿	204
5.7.2 C 刀具半径补偿	206

复习思考题	210
第6章 数控机床的检测装置	212
6.1 概述	212
6.1.1 数控机床对检测装置的主要要求	212
6.1.2 位置检测装置分类	213
6.2 旋转变压器	214
6.2.1 旋转变压器的结构	214
6.2.2 旋转变压器的工作原理	215
6.2.3 旋转变压器的应用	218
6.2.4 磁阻式多极旋转变压器简介	218
6.3 感应同步器	219
6.3.1 感应同步器的结构与种类	219
6.3.2 感应同步器的安装	221
6.3.3 感应同步器的工作原理	221
6.3.4 感应同步器的特点	224
6.4 光栅	225
6.4.1 光栅的种类与精度	225
6.4.2 光栅的结构与测量原理	226
6.4.3 光栅测量系统	229
6.5 编码器	231
6.5.1 接触式编码器	231
6.5.2 光电式编码器	232
6.5.3 编码器在数控机床中的应用	234
6.6 磁栅	235
6.6.1 磁栅的工作原理与结构	236
6.6.2 磁栅位移检测装置的结构类型	240
复习思考题	241
第7章 数控机床的伺服驱动系统	242
7.1 概述	242
7.2 步进电机及其驱动控制系统	243
7.2.1 步进电机的工作原理	243
7.2.2 步进电机的主要特性	246
7.2.3 步进电机的分类	247
7.2.4 步进电机的环形分配器	248
7.2.5 功率放大电路	251

7.3 直流伺服电机及其速度控制	255
7.3.1 直流伺服电机的分类	256
7.3.2 直流伺服电机的调速原理与方法	256
7.3.3 直流伺服电机速度控制单元的调速控制方式	257
7.4 交流伺服电机及其速度控制系统	264
7.4.1 交流伺服电机的分类与特点	264
7.4.2 交流伺服电机的变频调速	265
7.4.3 交流电机变频调速特性	269
7.4.4 交流伺服电机的矢量控制	270
7.4.5 永磁式交流伺服电机的矢量控制	274
7.4.6 感应式交流伺服电机的矢量控制	275
7.5 直线电机及其在数控机床中的应用简介	277
7.5.1 直线电机的特点	277
7.5.2 直线电机的基本结构和分类	278
7.5.3 直线电机的基本工作原理	280
7.5.4 直线电机在机床上的应用	281
7.6 位置控制	282
7.6.1 相位比较伺服系统	283
7.6.2 幅值比较伺服系统	288
7.6.3 数字脉冲比较伺服系统	289
7.6.4 全数字控制伺服系统	290
复习思考题	291
第8章 数控机床的机械结构与装置	292
8.1 概述	292
8.1.1 数控机床机械结构的特点	292
8.1.2 数控机床机械结构的基本要求	293
8.1.3 综合应用箱中箱完全对称结构和双丝杠驱动结构的实例	299
8.2 数控机床主运动系统	300
8.2.1 主传动方式	301
8.2.2 主轴部件的结构	301
8.2.3 主轴部件的支承	302
8.2.4 主轴的准停装置	305
8.2.5 自动换刀装置	307
8.2.6 高速电主轴装置	309
8.3 数控机床的进给传动系统	312

8.3.1	齿轮传动副	313
8.3.2	滚珠丝杠螺母副	315
8.3.3	齿轮齿条副	318
8.3.4	回转工作台	318
8.4	数控机床的导轨	324
8.4.1	带有塑料层的滑动导轨	324
8.4.2	滚动导轨	325
8.4.3	静压导轨	326
8.5	数控机床的自动换刀装置	328
8.5.1	自动换刀装置	328
8.5.2	刀库	331
8.5.3	刀具交换装置	332
8.6	数控机床的辅助装置	332
8.6.1	液压和气动装置	332
8.6.2	排屑装置	333
8.6.3	其他辅助装置	334
	复习思考题	334
第9章	分布式数控技术	336
9.1	概述	336
9.1.1	DNC 的产生	336
9.1.2	DNC 的特点	337
9.1.3	DNC 的基本组成	338
9.1.4	DNC 的主要功能	339
9.2	DNC 系统结构与控制	340
9.3	DNC 系统的通信方式	342
9.3.1	基于异步串行通信的点对点型	342
9.3.2	基于网络的分布式型	342
9.3.3	混合通信型	345
9.4	DNC 系统中的数据采集与信息监视	347
9.4.1	数据采集与信息监视技术	347
9.4.2	信息采集的实现方案与策略	347
9.4.3	OPC 原理与规范	349
9.4.4	OPC 技术在 DNC 中的应用	351
9.5	DNC 系统实例分析	354
9.6	DNC 技术发展趋势	357

复习思考题	357
第 10 章 柔性制造系统	358
10.1 概述	358
10.1.1 柔性制造系统定义	358
10.1.2 柔性制造系统特点	360
10.2 柔性制造系统基本组成	361
10.2.1 FMS 制造工作站	361
10.2.2 物料储运系统	362
10.2.3 FMS 管理与控制系统	369
10.3 FMS 实例	374
10.3.1 FMS-500 系统概况	374
10.3.2 FMS-500 系统递阶控制结构与系统功能	376
10.3.3 FMS-500 的特点	378
复习思考题	378
参考文献	379

第 1 章 数控技术概论

1.1 数控技术的基本概念

数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等学科领域成果而形成的一门技术。在现代机械制造领域中,数控技术已成为核心技术之一,是实现柔性制造(flexible manufacturing, FM)、计算机集成制造(computer integrated manufacturing, CIM)、工厂自动化(factory automation, FA)的重要基础技术之一。数控技术较早地应用于机床装备中,本书中的数控技术具体指机床数控技术。

国家标准《机床数字控制术语》(GB 8129—87)把机床数控技术定义为“用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”,简称数控(numerical control, NC)。数控机床是采用了数控技术的机床。国际信息处理联盟第五技术委员会对数控机床作了如下定义:“数控机床是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用代码,或其他符号编码指令规定的程序。”换言之,数控机床是一种采用计算机,利用数字信息进行控制的高效、能自动化加工的机床,它能够按照机床规定的数字化代码,把各种机械位移量、工艺参数、辅助功能(如刀具交换、冷却液开与关等)表示出来,经过数控系统的逻辑处理与运算,发出各种控制指令,实现要求的机械动作,自动完成零件加工任务。在被加工零件或加工工序变换时,它只需改变控制的指令程序就可以实现新的加工。所以,数控机床是一种灵活性很强、技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备。

随着自动控制理论、电子技术、计算机技术、精密测量技术和机械制造技术的进一步发展,数控技术正向高速度、高精度、智能化、网络化以及高可靠性等方向迅速发展。

1.2 机床数控技术的组成

机床数控技术由机床本体、数控系统和外围技术组成,如图 1-1 所示。

1.2.1 机床本体

机床本体主要由床身、立柱、工作台、导轨等基础件和刀库、刀架等配套件组成。数控机床的主运动、进给运动都由单独的伺服电机驱动,传动链短,结构较简单。为

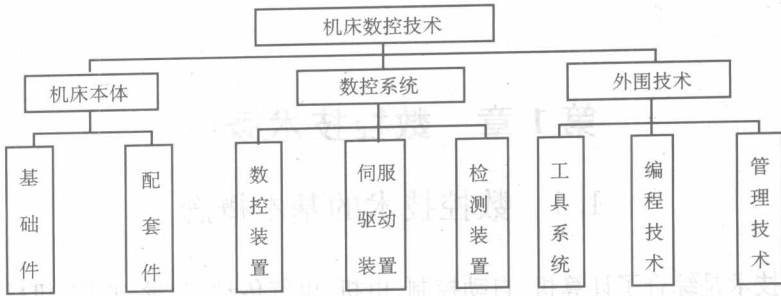


图 1-1 数控技术的组成

保证数控机床的快速响应特性,数控机床普遍采用精密滚珠丝杠和直线滚动导轨副。为保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工,机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、抗变形性能、耐磨性。除此之外,数控机床还配备有冷却、自动排屑、对刀、测量等配套装置,以利于更大地发挥数控机床的功能。

1.2.2 数控系统

数控系统是一种程序控制系统,它能逻辑地处理输入到系统中的数控加工程序,控制数控机床运动并加工出零件。

图 1-2 为数控系统的基本组成。它由输入/输出装置、计算机数控 (computer numerical control, CNC) 装置、可编程逻辑控制器 PLC (programmable logic controller, 以下简称可编程控制器)、主轴伺服驱动装置、进给伺服驱动装置以及检测装置等组成。

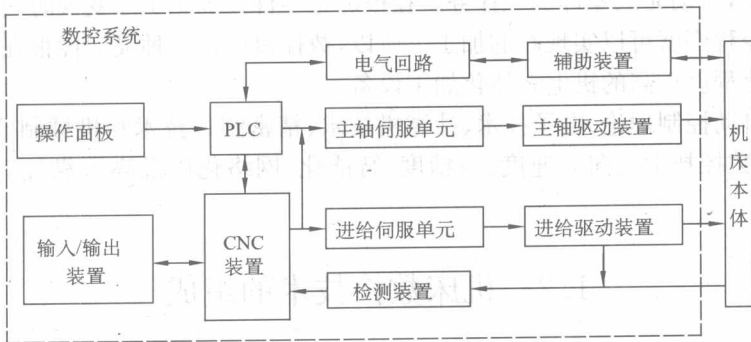


图 1-2 数控系统组成

1) CNC 装置

CNC 装置是数控系统的核心。在一般的数控加工过程中,首先启动 CNC 装置,

在 CNC 内部控制软件的作用下,通过输入装置或输入接口读入零件的数控加工程序,并存放于 CNC 装置的程序存储器内。开始加工时,在控制软件作用下,将数控加工程序从存储器中读出,按程序段进行处理,先进行译码处理,将零件数控加工程序转换成计算机能处理的内部形式,将程序段的内容分成位置数据和控制指令,并存放于相应的存储区域,最后根据数据和指令的性质进行各种流程处理,完成数控加工的各项功能。

输入装置可以通过多种方式获得数控加工程序。早期数控机床,通过读取穿孔纸带上的信息获得编写好的数控加工程序;目前可以通过 MDI(manual data input)方式直接从键盘输入和编辑数控加工程序,也可以通过 USB 接口、RS232C 接口等获得数控加工程序。有些高档的数控装置本身就包含了自动编程系统或 CAD/CAM 系统,只需通过键盘输入相应的零件几何信息和加工信息,就能生成数控加工程序。

CNC 装置通过编译和执行内存中的数控加工程序来实现多种功能。CNC 装置一般具有以下基本功能:坐标控制(XYZAB 代码)功能、主轴转速(S 代码)功能、准备功能(G 代码)、辅助功能(M 代码)、刀具(T 代码)功能、进给(F 代码)功能,以及插补功能、自诊断功能等。有些功能可以根据机床的特点和用途进行选择,如固定循环功能、刀具补偿功能、通信功能、特殊的准备功能(G 代码)、人机对话编程功能、图形显示功能等。不同类型、不同档次的数控机床,其 CNC 装置的功能有很大的不同。CNC 系统制造厂商或供应商会向用户提供详细的 CNC 功能和各功能的具体说明书。

2) 伺服驱动装置

伺服驱动装置又称伺服系统,它是 CNC 装置和机床本体的联系环节,它把来自 CNC 装置的微弱指令信号调解、转换、放大后驱动伺服电机,通过执行部件驱动机床运动,使工作台精确定位或使刀具与工件按规定的轨迹做相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。数控机床的伺服驱动装置包括主轴伺服驱动单元(主要是速度控制)、进给伺服驱动单元(包括位置和速度控制)、回转工作台和刀库伺服控制装置以及它们相应的伺服电机等。伺服系统分为步进电机伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统、直线伺服系统。步进电机伺服系统比较简单,价格又低廉,所以在经济型数控车床、数控铣床、数控线切割中仍有使用;直流伺服系统从 20 世纪 70 年代到 80 年代中期在数控机床获得了广泛的应用。但由于直流伺服系统使用机械(电刷、换向器)换向,维护工作量大。80 年代以后,由于交流伺服电机的材料、结构、控制理论和方法均有突破性的进展,电力电子器件的发展又为控制方法的实现创造了条件,使得交流伺服电机驱动装置发展很快,目前正在取代直流伺服系统。该系统的最大优点是电机结构简单、不需要维护、适合在恶劣环境下工作。此外,交流伺服电机还具有动态响应好、转速高和容量大等优点。当今,在交流伺服系统中,除了驱动级外,电流

环、速度环和位置环可以全部采用数字化控制。交流伺服的控制模型、数控功能、静动态补偿、前馈控制、最优控制、自学习功能等均由微处理器及其控制软件高速实时地实现,使得其性能更加优越,已达到和超过直流伺服系统。直线伺服系统是一种新型高速、高精度的伺服机构,开始在数控机床中使用。

3) 检测装置

检测装置主要用于闭环和半闭环系统。检测装置检测出实际的位移量,反馈给 CNC 装置中的比较器,与 CNC 装置发出的指令信号比较,如果有差值,就发出运动控制信号,控制数控机床执行部件向消除该差值的方向移动。不断比较指令信号与反馈信号,然后进行控制,直到差值为 0,运动停止。

常用检测装置有旋转变压器、感应同步器、编码器、光栅、磁栅等。

4) PLC

在数控系统中除了进行轮廓轨迹控制和点位控制外,还应控制一些开关量,如主轴的启动与停止、冷却液的开与关、刀具的更换、工作台的夹紧与松开等,在目前的数控系统中主要由 PLC 完成。

1.2.3 外围技术

外围技术主要包括工具系统(主要指刀具系统)、编程技术和管理技术。

1.3 数控加工零件的过程

在数控机床上加工零件时,要事先根据零件加工图纸的要求确定零件加工路线、工艺参数和刀具数据,再按数控机床编程手册的有关规定编写零件数控加工程序,然后通过输入装置将数控加工程序输入到数控系统,在数控系统控制软件的支持下,经过处理与计算后,发出相应的控制指令,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动,从而进行零件的切削加工。数控机床加工零件的过程如图 1-3 所示。

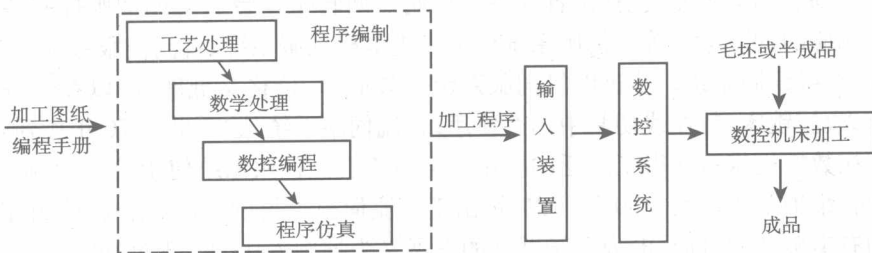


图 1-3 数控加工零件的过程

1) 零件图工艺处理

拿到零件加工图纸后,应对工件的形状、尺寸、位置精度、材料和技术要求进行分折,确定出合理的加工路线、装夹方式、刀具参数、对刀点和辅助动作顺序,同时还要考虑所用数控机床的指令功能。

2) 数学处理

在工艺处理后,应根据刀具相对工件的运动轨迹、图纸上的几何尺寸,计算刀具中心轨迹,获得刀位数据。如果数控系统有刀具补偿功能,则只需要计算出轮廓轨迹上的坐标值。

3) 数控编程和程序仿真

根据加工路线、工艺参数、刀位数据、数控系统规定的代码格式,编写数控加工程序,并利用数控程序仿真软件进行模拟仿真,以检查运动轨迹是否正确,程序确认后,可存放在控制介质(如U盘等)上。

4) 程序输入

数控加工程序通过输入装置输入到数控系统。目前采用的输入方法主要有USB接口、RS232C接口、MDI手动输入、分布式数字控制(direct numerical control, DNC)接口、网络接口等。数控系统一般有两种不同的输入工作方式:一种是边输入边加工,DNC即属于此类工作方式;另一种是一次将零件数控加工程序输入到计算机内部的存储器,加工时再由存储器一段一段地往外读出,USB接口即属于此类工作方式。

5) 译码

输入的程序中含有零件的轮廓信息(如直线起点和终点坐标;圆弧起点、终点及圆心坐标;孔的中心坐标及孔深等)、切削用量(进给速度、主轴转速)、辅助信息(换刀、冷却液开与关、主轴顺转与逆转等)。数控系统以一个程序段为单位,按照一定的语法规则把数控程序解释、翻译成计算机内部能识别的数据格式,并以一定的数据格式存放在指定的内存区内。在译码的同时还完成对程序段的语法检查,一旦有错,立即给出报警信息。

6) 数据处理

数控系统的数据处理程序一般包括刀具补偿、速度计算以及辅助功能的处理程序。刀具补偿有刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的任务是根据刀具半径补偿值和零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹;刀具长度补偿的任务是根据刀具长度补偿值和程序值计算出刀具轴向实际移动值。速度计算主要实现自动加减速处理,同时对机床允许的最低速度和最高速度的限制进行判别处理。辅助功能的处理主要完成指令的识别、存储、设标志,这些指令大都是开关量信号,现代数控机床可由PLC控制。

7) 插补

数控加工程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹,而刀具从起点沿直线或