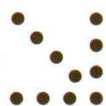


机械设计制造及其自动化专业本科系列规划教材

SHUKONG
JIAGONG JISHU

数控加工技术



主 编 何高法

副主编 侯红玲 余永维

主 审 唐一科



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

数控加工技术

主 编 何高法
副主编 侯红玲 余永维
参 编 孟 杰 吴 睿 李 亮
主 审 唐一科

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是由重庆大学出版社联合西部地区众多一般院校编写的“机械设计制造及其自动化专业本科系列教材”之一。全书共8章,主要内容包括数控加工技术概论、数控机床及工装设备、数控加工工艺设计、数控加工程序编制基础、数控车床编程与加工、数控铣床编程与加工、数控加工中心编程与加工及计算机辅助数控加工技术简介。为便于自学和自测,本书每个章节后均附有习题供学习后练习。

本书可作为高等院校本、专科机械类相关专业“数控加工技术”课程教材,也可供从事数控加工技术与维修的相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/何高法主编. —重庆:重庆大学出版社,2013.6

机械设计制造及其自动化专业本科系列规划教材

ISBN 978-7-5624-7399-2

I. ①数… II. ①何… 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(2013)第 113358 号

数控加工技术

主 编 何高法

副主编 侯红玲 余永维

主 审 唐一科

策划编辑:曾显跃

责任编辑:李定群 高鸿宽 版式设计:曾显跃

责任校对:刘 真 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

万州日报印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:368 千

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-7399-2 定价:29.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

随着先进制造技术的发展,数控加工技术已成为机械制造业技术的核心内容之一,它的广泛应用和发展正在改变着机械制造业的面貌,因此,加速培养掌握数控加工技术的应用型人才已成为当务之急。本书是由重庆大学出版社联合西部地区众多一般院校编写的“机械设计制造及其自动化专业本科系列教材”之一。编写大纲是由各高校讨论后确定的,充分吸收了各高校对该课程的各种教学改革和实践成果。本教材可作为高等院校本、专科机械类的相关专业教材,也可供从事数控加工技术与维修的相关工程技术人员参考。

本书编写过程中力求取材新颖、实用,同时注重内容的实用性和系统性。围绕数控加工技术的能力培养,尽可能全面地介绍数控加工技术各方面的内容。在叙述上力求层次分明,内容简洁。本书既有理论又有实例,以便于讲授与自学,并且每章后均附有习题供学习后思考提高。

全书共8章,主要内容包括数控加工技术概论、数控机床及工装设备、数控加工工艺设计、数控加工程序编制基础、数控车床编程与加工、数控铣床编程与加工、数控加工中心编程与加工及计算机辅助数控加工技术简介。

本书由重庆科技学院何高法担任主编,重庆理工大学余永维和陕西理工学院侯红玲担任副主编。其中,第1章由何高法和侯红玲编写,第2章和第3章由何高法编写,第4章由重庆科技学院吴睿编写,第5章由重庆科技学院孟杰编写,第6章由侯红玲编写,第7章和第8章由余永维编写。

全书由重庆大学唐一科教授主审。唐一科教授对全书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

另外,本书在编写过程中参考和借鉴了诸多同行的相关资料和文献,对他们表示诚挚的谢意!

由于编者的水平所限,书中难免有欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2013年3月

目 录

第1章 概论	1
1.1 数控加工技术概述	1
1.2 数控加工过程及原理	5
1.3 数控加工人员的要求	9
习题	10
第2章 数控机床及工装设备	11
2.1 数控机床结构	11
2.2 数控机床的种类	14
2.3 数控加工机床的选择	18
2.4 数控加工常用工具及其选择	23
习题	29
第3章 数控加工工艺设计	30
3.1 数控加工的工艺特点与内容	30
3.2 数控加工的工艺分析方法	34
3.3 数控加工的工艺路线设计	38
3.4 数控加工的工序设计	43
3.5 数控加工的工艺文件	48
习题	54
第4章 数控加工程序编制基础	55
4.1 数控加工程序的编制内容与步骤	55
4.2 数控编程坐标系统	56
4.3 数控加工程序结构及格式	59
4.4 数控编程指令介绍	59
习题	79
第5章 数控车床编程与加工	80
5.1 数控车床的结构和加工特点	80
5.2 数控车削加工工艺处理	86

5.3	数控车床对刀	106
5.4	数控车床的基本操作	108
5.5	零件车削加工实例	120
	习题	127
第 6 章	数控铣床编程与加工	129
6.1	数控铣床概述	129
6.2	数控铣削加工工艺处理	132
6.3	数控铣削加工的刀具补偿	139
6.4	数控铣床的基本操作	146
6.5	数控铣床加工时的对刀	157
6.6	零件加工实例	159
	习题	163
第 7 章	数控加工中心编程与加工	165
7.1	数控加工中心概述	165
7.2	数控加工中心的刀库系统	166
7.3	数控加工中心的工艺处理	168
7.4	加工中心的基本操作	179
7.5	加工中心零件加工实例	190
	习题	198
第 8 章	计算机辅助数控加工技术简介	201
8.1	概述	201
8.2	典型 CAD/CAM 软件介绍	201
8.3	典型零件 CAD/CAM 应用实例	208
8.4	数控加工技术的新进展	220
	习题	225
	参考文献	227

第 1 章 概 论

1.1 数控加工技术概述

1.1.1 数控加工技术的概念

数字控制(Numerical Control, NC)简称数控,在机床领域是指用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种自动化技术。它所控制的一般是位置、角度、速度等机械量,但也有温度、流量、压力等物理量。而计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC)是用一个存储程序的专用计算机由控制程序来实现部分或全部基本控制功能,并通过接口与各种输入输出设备建立联系。更换不同的控制程序,可实现不同的控制功能。

数控机床是数字控制设备的典型代表,它是一种灵活、通用、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。简单来说,数控加工技术就是利用数字化控制系统和计算机辅助技术,在机床设备上完成整个零件的加工制造。它不仅仅是对数控机床的操作,还包括了加工零件的工艺处理、数控编程等前期工作以及零件质量控制等后期工作。

1.1.2 数控加工技术的特点及工程优势

总体来说,与传统的机械加工手段相比较,数控加工技术具有以下 6 个方面的优势:

(1) 对加工对象的适应性强

多采用通用工装,只要改变数控程序,便可实现对新零件的加工。数控机床上加工不同工件时,只需重新编制加工程序,就能实现不同的加工。同时,数控机床加工工件时,只需简单的夹具,不需成批的工装,更不需要反复调整机床,因此,特别适合单件、小批量及试制新产品的工件加工。对于普通机床很难加工的精密复杂零件,数控机床也能实现自动化加工。

(2) 加工精度高

机床零部件的机械制造精度高、伺服反馈、工序集中、人为干涉少等,这些都是数控机床加工精度高的主要原因。数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,制

造精度高,进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿;数控机床的自动加工方式避免了人为的干扰因素,因此,数控机床能达到很高的加工精度。

(3) 生产效率高

减少了装夹与对刀时间。工件加工所需时间包括机动时间和辅助时间,数控机床能有效地减少这两部分时间。数控机床的主轴转速和进给量的调整范围都比普通机床设备的范围大,因此,数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量;从快速移动到停止采用了加速、减速措施,既提高运动速度,又保证定位精度,有效地降低机动时间。数控设备更换工件时不需要调整机床,同一批工件加工质量稳定,无须停机检验,辅助时间大大缩短。特别是使用自动换刀装置的数控加工中心,可在同一台机床上实现多道工序连续加工,生产效率的提高更加明显。

(4) 操作者劳动强度低

数控机床的操作由体力型转为智力型。它是按照预先编制好的加工程序自动连续完成的。操作者除输入加工程序或操作键盘、装卸工件、关键工序的中间测量及观察设备的运行之外,不需要进行烦琐、重复手工的操作,这使工人的劳动条件大为改善。

(5) 经济效益好

相对普通机床,数控机床的效率一般能提高2~3倍,甚至十几倍。虽然数控设备的价格昂贵,分摊到每个工件上的设备费用较大,但是使用数控设备会节省许多其他费用。特别是不需要设计制造专用工装夹具,加工精度稳定,废品率低,减少调度环节等,因此整体成本下降,可获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理

程序化控制加工、更换品种方便,另外,一机多工序加工,简化了生产过程的管理,减少管理人员;还可实现无人化生产。

采用数控机床能准确地计算产品单个工时,合理安排生产。数控机床使用数字信息与标准代码处理、控制加工,为实现生产过程自动化创造了条件,并有效地简化了检验、工夹具和半成品之间的信息传递。

1.1.3 数控加工技术的产生和发展

(1) 数控技术发展

随着科学技术的发展,机械产品结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,更新换代频繁,生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产转化。因此,对机械产品的加工相应地提出了高精度、高柔性、高度自动化的要求。数字控制机床就是为了解决单件、小批量,特别是复杂型面零件加工的自动化,并保证质量要求而产生的。数控加工技术就是随着数控机床的发展而发展起来的。

数控机床的发展先后经历了电子管(1952年)、晶体管(1959年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路及小型计算机(1970年)及微处理机或微型计算机(1974年)共5代数控系统。第一台数控机床是1952年美国PARSONS公司与麻省理工学院(MIT)合作研制的三坐标数控铣床,它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的技术成果,可用于加工复杂曲面零件。1965年,出现了第三代的集成电路数控装置,不仅体积小,功率消耗少,且可靠性提高,价格进一步下降,促进了数控

机床品种和产量的发展。20世纪60年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称 DNC),又称群控系统;采用小型计算机控制的计算机数控系统(简称 CNC),使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。1974年,研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(简称 MNC),这是第五代数控系统。20世纪80年代初,随着计算机软、硬件技术的发展,出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置;数控装置愈趋小型化,可直接安装在机床上;数控机床的自动化程度进一步提高,具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。20世纪90年代后期,出现了 PC + CNC 智能数控系统,即以 PC 机为控制系统的硬件部分,在 PC 机上安装 NC 软件系统,此种方式系统维护方便,易于实现网络化制造。

(2) 数控机床的国内外现状

目前国外机械设备的数控化率已达到 85% 以上,而我国的机械设备的数控化率不足 20%。中端进口机床大行其道,令国内机床企业不安的是,日益增多的进口机床正在挑战中国机床企业的市场地位,尤其是中端机床正在遭受进口机床的正面狙击。2012年6月份资料显示,2009年中国进口加工中心 8 553 台,进口额 14.16 亿美元,平均单价 16.56 万美元;2011年加工中心进口数高达 40 843 台,进口额 47.59 亿美元,进口加工中心平均单价为 11.65 万美元。该内部资料的分析结论是,加工中心进口产品结构正在发生重大变化,高档、价格昂贵的加工中心进口有所减少。换言之,进口高档机床比例减少,中端机床比例增多。

造成进口机床大量进入我国的一个重要原因是,中国经济的快速发展使得机床消费需求旺盛。我国机床消费连续 10 年保持了全球消费第一,机床消费量巨大,消费品种之多,超过了自身的机床生产能力。即便是全球金融危机发生后,我国的机床消费也不减反增,特别是 4 万亿经济刺激计划,拉动国内机床需求增加,催生了一大批提前机床消费,这让国际机床企业对中国刮目相看,“重新发现”中国在全球机床消费领域的市场价值。

而未来 5 年,中国机床市场的消费势头更大。有预测认为,到 2015 年,中国机床工具行业的产值超过 8 000 亿元。不过,中国高档机床制造能力不足,最高端的机床完全依赖进口是不争的事实。在中端和低端机床市场上,中国机床除了价格优势外,在加工的精度和可靠性上,与进口机床还有差距。正是看到这个差距,国外机床企业开始有意识地降低进口机床的价格,直接削弱了中国机床产品长期以来的价格优势。除了价格优势之外,进口机床产品精度高、稳定性好以及效率、自动化、智能化的优势开始凸显,逐步吸引了国内用户的目光,从而促成了进口机床火爆的市场局面。

中国机床企业当务之急,需要加快自主创新步伐,实现技术突破,开发出中国急需的高端机床产品,提升中低端机床的技术含量和品质。为了尽快实现技术突破,中国大型机床企业加快了同国外机床企业的合作,联合开发高端数控机床。沈阳机床、日本森精机、德国吉特迈达成合作,在沈阳建立合资企业,声称主要面向高端市场开发新产品。济南二机床集团与意大利皮特-卡纳基股份公司合资,联合制造高档精密数控立式车床、车铣复合加工中心。同时,国家也出台了一些促进国产机床迅速发展的政策和措施,为了尽快实现这一突破,国家工信部成立了高档数控机床与基础制造装备科技重大专项,重点研发难以从国外进口或者国外不向我国出口的机床产品。

(3) 数控机床的发展趋势

可以预测,在未来的若干年内,各国机床制造商和研发机构将在以下领域争夺制高点:

1) 虚拟机床 (Virtual Machine Tool, VMT)

通过研发机电一体化的、硬件和软件集成的仿真技术来实现机床的设计水平和使用绩效的提高。虚拟机床是随着虚拟制造技术的发展而提出的一个新的研究领域,虚拟数控机床是虚拟制造的执行单元,是虚拟制造的关键基础技术之一。它的最终目的是为虚拟制造建立一个真实的加工环境,在计算机屏幕上实现加工过程的仿真,以增强制造过程的各级决策与控制能力,优化制造过程。

虚拟机床与实际机床一样,可认为是一组相互连接的活动部件的集合。它们完成要求的相对运动,提供工件和刀具系统上相关点的瞬间空间位置关系。因为机床的类型各式各样,所以品种千变万化。

2) 绿色机床 (Green Machining)

强调节能减排,力求使生产系统的环境负荷达到最小化。绿色机床一般具有以下特点:

- ①机床主要零部件由再生材料制造。
- ②机床的质量和体积减小 50% 以上。
- ③通过减轻移动质量、降低空运转功率等措施使功率消耗减少 30% ~ 40%。
- ④使用过程中产生的各种废弃物减少 50% ~ 60%, 保证基本没有污染的工作环境。
- ⑤报废后机床的材料 100% 可回收。

传统的机床设计理念是“只有足够的刚度才能保证加工精度,提高刚度就必须增加机床质量”。因此,现有机床质量的 80% 用于“保证”机床的刚度,而只有 20% 用于满足机床运动学的需要。机床绿色化的第一个措施是通过大幅度降低机床质量和减少所需的驱动功率来构建具有生态效益的机床 (Eco-efficient Machine tool)。绿色机床提出一种全新的概念:大幅减少机床质量,节省材料;同时降低机床使用时的能源消耗。绿色制造技术是一门综合技术,节约能源、节约资源、提高生产率是绿色制造技术的核心要求。事实上,绿色制造技术的应用既是可持续发展的客观要求,也是市场竞争的需要。

3) 聪明机床 (Smart Machining)

提高生产系统的可靠性、加工精度和综合性能。2005 年,美国国家标准与技术研究所提出“聪明加工系统 (Smart Machining System)”的研究计划。聪明加工系统的实质是制造系统的智能化和网络化。假如说绿色机床是环境友好,那么智能机床的目标就是用户友好。“用户友好”的含义在于大幅提升工作效率和确保工作更加舒适且安全。要求机床能够自主治理自己,自动识别加工任务和加工状态,无须或很少需要人工干预,同时还能够及时与操纵者沟通,变得“聪明”起来,开拓数控机床的新纪元。

4) e-机床 (Autonomous Machine)

e-机床提高生产系统的独立自主性以及与管理者和使用者的交互能力,使机床不仅是一台加工设备,而是成为企业管理网络中的一个节点。

随着网络技术的日渐普及,数控机床走向网络化和信息化已成为必然趋势,互联网进车间只是时间问题。从另一角度来看,企业资源计划假如仅仅局限于业务治理部分(人、财、物、产、供、销)或设计开发等企业上层的信息是远远不够的,车间最底层的加工设备——数控机床不能够连成网络或信息化,就必然成为制约制造业信息化的瓶颈,无法真正解决工厂的最关键题目。因此,对于面临日益严重的全球化竞争的现代制造工厂来说,不仅要进步机床的数控化率,更要使所拥有的数控机床具有双向、高速的联网通信功能,以保证信息流在车间

的底层之间以及底层与上层之间的通信畅通无阻。例如,日本 Mazak 公司推出的新一代加工中心不仅实现了加工过程和刀具交换的自动化,还配备一个称为信息塔(e-Tower)的外部设备,包括了计算机、手机、机外及机内摄像头等,能够实现语音、图形、视像和文本的通信功能,信息塔向操纵者发出指令。该机床与生产计划调度联网,可实时反映机床工作状态和加工进度。操纵者需指纹确认权限,在屏幕上观察加工过程。拥有故障报警显示功能,并能在线帮助排除题目。它是独立的、自主治理的制造单元。

随着数控机床技术的发展,数控加工技术和加工工艺也将出现革命性的变革。

1.1.4 数控加工技术的意义

制造业是国民经济的命脉,机械制造业又是制造业中的支柱与核心。因此,机械制造业是整个工业和国民经济的基石。而数控加工技术水平的高低,已成为衡量一个国家机械制造水平的重要标志。数控化率越高,机械制造水平就越高。数控加工作为一种先进的加工方法,被广泛地应用于航空工业、船舶工业以及电子工业等高精度、复杂零件的加工生产。

在现代社会生产领域中,用计算机辅助制造工程技术对我国传统产业进行改造,是我国制造业走向世界、走向现代化的必由之路。在国际竞争日益激烈的今天,作为计算机辅助制造工程技术基础的数控加工技术在机械制造业中的地位显得越来越重要。现在很多工业发达国家的数控化率已达 85% 以上,数控机床已成为机械制造业的主要设备。我国从 20 世纪 50 年代开始研制和使用数控机床,至今在数控机床的品种、数量和质量等方面得到了长足的发展。特别是在改革开放以来,我国数控机床的总拥有量有了显著的增加。数控加工技术的应用和普通机床的数控化改造已成为传统机械制造企业提高竞争力、摆脱困境的有效途径。

进入 21 世纪后,科技部和各工业部门都十分重视先进制造技术的应用,积极鼓励和扶持制造企业采用数控加工技术进行技术改造,提高企业工艺技术水平。国务院曾提出,以系统、高速和精密数控机床等为国家重点鼓励发展的产品和技术之一。可以预见,在今后,适合我国国情的数控加工技术将形成一个新兴的高科技产业,成为新的经济增长点。

另一方面,虽然我国的数控机床总拥有量有较大的提高,各种类型、不同档次的数控机床在企业得到了广泛的使用,其中不乏世界领先的数控机床,但使用情况不容乐观。其主要表现在数控机床功能未得到充分发挥,数控机床的实际开机率低,数控机床加工效率低,技术准备工作周期长、反复多,加工质量不稳定,总体的技术应用水平还比较低。其主要原因是数控加工技术人员的素质、数量、结构还不太适应数控加工技术发展的要求,我国迫切需要大量的从研究开发到使用、维修的各个层次的数控技术人才。

1.2 数控加工过程及原理

1.2.1 数控加工过程

数控加工过程如图 1.1 所示。对工件材料进行加工之前,要事先根据零件加工图样的要求,依据机械加工工艺手册确定加工工艺过程、工艺参数和刀具数据;再按编程手册的有关规定编写零件数控加工程序;然后将编制好的程序通过 MDI 或 DNC 方式输入数控系统;在数控

系统控制软件的支持下,经过处理和计算后发出相应的指令,最后通过伺服系统使机床按照预先设定的运动轨迹运动,从而完成零件的切削加工。上述过程具体化为3个方面的内容,即数控加工工艺设计、数控程序编制和数控机床操作。本书将在后面的各章节中详细讲解上述3个方面的内容。

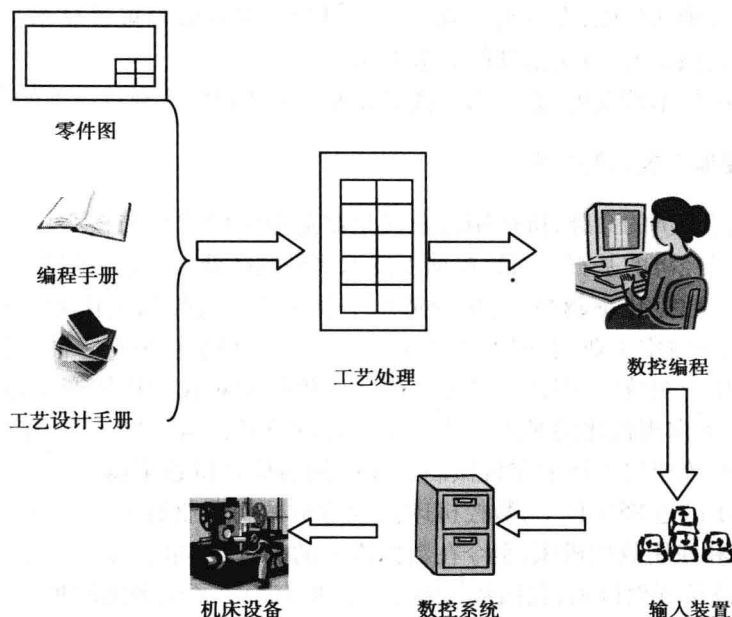


图 1.1 数控加工过程

数控加工的切削成型原理就是普通切削时的试切原理,不同点在于该试切过程由数控系统来完成。其工作原理如图 1.2 所示。

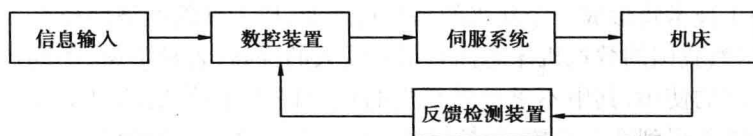


图 1.2 数控机床工作原理

由信息输入装置输入程序、参数等数据信息,而数控装置接收到加工信息后,经过数控装置内部的处理,插补计算、补偿计算,向各坐标的伺服驱动系统发出位置、速度指令,从而实现各种控制功能。这是数控机床的控制中心。伺服系统接受数控装置发来的指令,将信号进行调解、转换、放大后驱动伺服电机,带动机床执行部件运动。机床执行部件也就是机床本体,包括主运动部件、进给运动部件、执行部件及基础部件。检测反馈装置包括速度和位置检测反馈装置。其中,位置检测元件是数控机床的重要组成部分。检测元件采用直接或间接的方法将数控机床的执行机构或工作台等设备的速度和位移检测出来,并发出反馈信号,与数控系统发出的信号指令相比较,构成闭环(半闭环)系统,补偿执行机构的位置误差,从而提高数控机床加工精度。

1.2.2 数控系统的工作过程

由上述机床工作原理可知,机床的控制是由数控系统来完成的。数控系统除了中央控制系统以外,还包括键盘、显示器、操作面板及机床接口等输入输出设备。数控装置通过控制介质接收来自外界的加工信息,然后进行插补运算,实时地向各坐标轴发出速度和位置控制指令。

下面简要介绍数控系统的工作过程。

(1) 译码

输入系统中的程序段含有零件的轮廓信息(起点、终点,直线、圆弧等)要求的加工速度以及其他一些辅助信息(如换刀、进给速度和冷却液等)。计算机依靠译码程序来识别这些指令符号,译码程序将工件加工程序翻译成计算机内部能识别的语言。

(2) 数据处理

数据处理程序一般包括刀具半径补偿、速度计算以及辅助功能的处理。刀具半径补偿是根据刀具半径值把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹。速度计算是解决该加工程序段以什么样的速度来运动的问题。这里要注意,加工速度的确定是一个工艺问题,数控系统仅仅是保证这个编程速度的可靠实现。另外,辅助功能,如换刀或冷却液等也在这个程序中处理。

(3) 插补运算

所谓插补运算,是指在已知一条曲线的种类、起点、终点以及进给速度后,在起点和终点之间进行数据点的密化。也就是数控加工的轨迹控制,它是数控加工的重要特征。理解数控加工原理的关键就是理解插补原理。正是有了插补功能,数控机床才能加工出各种形状复杂的零件。实际加工中,被加工零件的轮廓种类很多,严格来说,为了满足加工要求,刀具运动轨迹应该准确地按照零件的轮廓形状来生成。但是,对于复杂的曲线轮廓,直接计算刀具运动轨迹非常复杂,计算工作量太大,不能满足数控加工的实时计算实时控制功能。因此,在实际应用中,一般是用一小段直线或圆弧去逼近(拟合)零件轮廓曲线,也就是通常所说的直线或圆弧插补。某些高性能的数控系统中,还具有抛物线或螺旋线插补功能。

插补的任务就是根据进给速度的要求,完成在零件(或刀具运动轨迹)轮廓起点和终点之间的中间点坐标值计算。对于轮廓控制系统来说,插补运算是最重要的计算任务。插补对机床控制必须是实时的。插补运算速度直接影响系统的控制速度,而插补计算精度又影响到整个 CNC 系统的精度。人们一直在努力探求计算速度快同时计算精度又高的插补算法。目前,常用的插补方法有两类,即脉冲增量插补法和数据采用插补法。

1) 脉冲增量插补

脉冲增量插补是模拟硬件插补的原理,把计算机每次插补运算产生的指令输出到伺服系统,伺服系统根据进给脉冲来进给,以驱动工作台运动。脉冲增量插补法适用于以步进电机为驱动装置的开环数控系统,这类插补算法的特点是每次插补的结果仅产生一个行程增量,以一个脉冲的方式输出给步进电机。脉冲增量插补的实现方法简单,通常仅用加法和位移就可以完成插补,容易用硬件来实现,而且用硬件实现这类运算的速度非常快。

目前的 CNC 系统一般均用软件来完成这类算法。应用软件实现脉冲增量插补算法一般要执行 20 多条指令,如果计算机 CPU 的时钟频率为 5 MHz,那么计算一个脉冲当量所需时间约为 40 μs 。当脉冲当量为 0.001 mm 时,可达到的坐标轴极限速度为 1.5 m/min。如果要控

制两个或两个以上坐标,且要承担其他必要的数控功能时,所能形成的轮廓插补进给速度将进一步降低。如果要求保证一定的进给速度,那么只能增大脉冲当量,使精度降低。例如,脉冲当量为 0.01 mm 时,上述 CPU 系统实现单坐标控制的进给速度理论值可达到 15 m/min。

因此,脉冲增量插补输出的速度主要受插补程序所用时间的限制,它一般仅适用于中等精度和中等速度以及以步进电机为进给执行机构的数控系统。

2) 数据采样插补

数据采样插补是用小段直线来逼近已给轨迹,适用于闭环和半闭环以直流或交流伺服电机为进给执行机构的 CNC 系统。这种方法是将加工一段直线或圆弧的时间划分为若干相等的插补周期,每经过一个插补周期就进行一次插补运算,算出在该插补周期内各坐标的进给量,边计算边加工,若干次插补周期后便完成一个曲线段的加工,即从曲线段的起点走到了终点。

与脉冲增量插补法不同,数据采样插补时,是根据加工直线或圆弧段的进给速度 v 来计算每个插补周期内的插补进给量,即步长。例如,假定数控系统的插补周期为 $t = 8 \text{ ms}$,进给速度为 $v = 10 \text{ m/min}$,则插补步长为

$$dl = \frac{vt}{60 \times 1000} = 1.33 \text{ mm}$$

假设加工的圆弧半径为 50 mm,则产生的逼近误差为 0.004 4 mm。显然,对于曲线插补,插补步长越短,插补精度越高。插补周期越短插补精度越高;进给速度越高插补精度越低。当加工精度要求高时,在数控系统一定的情况下,进给速度的快慢将影响工件的形状精度,这一点与普通机床加工时是有区别的。但是,需要指出的是,在直线插补中,插补所形成的每个小直线段与给定的直线重合,不会造成轨迹误差,也就是说进给速度的快慢不影响加工零件的形状误差。

插补计算误差与插补周期成正比,插补周期越长,插补计算误差越大。因此,从减少插补计算误差的角度考虑,插补周期应该选得尽量短,但必须大于插补运算时间与完成其他数控功能所需时间之和。CNC 系统必须选择一个合理的插补周期。随着微处理器的运算速度越来越高,为了提高 CNC 系统的进给速度和插补精度,插补周期会越来越短。

已知,加工速度和加工精度之间存在着矛盾,在加工时需要综合考虑加工速度和加工精度的要求,选择合适的进给速度。

对于多坐标数控加工(三轴、四轴、五轴数控加工),一般只采用直线插补(线性插补)。对于具体的线性插补算法请读者参阅其他相关资料。

(4) 伺服控制

插补运算的结果是产生一个或多个插补周期内的位置增量。该位置增量在上一个插补周期内已经计算出来。伺服控制程序的功能就是完成本次插补周期的位置伺服计算,并将结果发送到伺服驱动接口中去。

(5) 管理程序

当一个曲线段开始插补时,管理程序即着手准备下一个数据段的读入、译码、数据处理。也就是说由它调用各个功能子程序,且保证一个数据段加工过程中将下一个程序段准备完成。一旦本曲线段加工完毕,即开始下一个曲线段的插补加工。整个零件加工就是在这种周而复始的过程中完成的。

1.3 数控加工人员的要求

与普通设备相比,数控加工设备加工精度更高,具有稳定的加工质量,可进行多坐标的联动,能加工形状复杂的零件;机床本身的精度高、刚性大,可选择有利的加工用量,生产率高(一般为普通机床的3~5倍),可节省生产准备时间,机床自动化程度高,可减轻劳动强度。因此,对采用数控加工设备来生产的工程技术人员比采用普通设备来生产的技术人员具有更高的要求。

根据前述的数控加工过程来看,数控加工人员应该包括3个方面的人才:一是数控加工工艺设计人员;二是数控加工程序编制人员;三是数控设备操作人员。对于前两类人员不仅要求熟悉数控机床设备的性能、操作方法,还需要掌握零件的数控加工工艺编制方法,熟悉数控程序等。

对数控工艺设计和编程人员来说,要具备数控加工程序的设计能力和编制数控加工工艺的能力;要能熟练运用PROE,UG,CIMATRON,MASTERCAM等计算机辅助制造软件;要及时根据客户提供的3D造型图和2D平面图来设计模具分模图,进行产品加工过程仿真,以及编制数控加工程序,等等。

对数控机床的操作、维修人员来说,要有一定的专业知识和能力,如机械识图、制图知识;形位配合和形位公差等知识;应有较高的理论知识和维修技术;要了解数控机床的机械结构;懂得数控机床的电气原理及电子电路;还应有比较宽的机、电、气、液专业知识。这样才能综合分析,判断故障的根源,正确地进行维修,保证数控机床的良好运行状况以及保证加工出合格的机械产品。

数控机床是根据加工程序对工件进行自动加工的先进设备,工件的加工质量主要由机床的加工精度、工艺和加工程序的质量决定,基本上排除了机床操作人员手工操作技能的影响,但对操作者的综合素质提出了较高的要求。尤其是在我国开始逐渐普及数控加工技术的初期,很多企业拥有先进的数控机床,但数控加工工艺及加工程序的质量却很低,数控机床操作人员的数量和素质不能满足数控加工快速发展的要求,导致产品质量差,加工效率低。目前,符合数控加工实际需要的数控机床操作人员还存在较大的缺口。

数控机床是典型的机、电、液、气一体化的设备,对使用操作人员的要求较高,国家劳动和社会保障部规定必须持证上岗。数控机床的操作不同于普通机床对操作者的经验和手工技巧的要求,需要操作人员具有较好的工艺基础知识和较高的综合素质,能够不断了解和掌握先进加工技术的实际应用。

数控机床要按照数控加工程序自动进行零件的加工,必须由机床操作人员具体实施。可以说,数控加工工艺方案是通过机床操作人员在数控机床上实现的,数控加工现场经验的积累又是提高数控加工工艺和数控加工程序质量的基础。因此,数控加工技术是企业生产过程中非常重要的环节,数控工艺设计技术、数控编程技术以及数控机床操作人员的素质和水平将直接影响企业的生产效率、产品质量以及生产成本。高素质的数控加工人员是保证产品质量的重要条件之一。

习 题

- 1.1 什么是数控加工技术？
- 1.2 数控加工与传统加工相比有哪些特点？
- 1.3 简述数控加工的工作原理。
- 1.4 简述数控系统的工作过程。
- 1.5 对数控加工工艺人员有哪些要求？

第 2 章

数控机床及工装设备

2.1 数控机床结构

数控机床是完成数控加工的最主要设备。它由输入输出装置、计算机数控装置(简称 CNC 装置)、伺服系统和机床本体等部分组成,其组成框图如图 2.1 所示。其中,输入输出装置、CNC 装置、伺服系统合起来就是计算机数控系统。

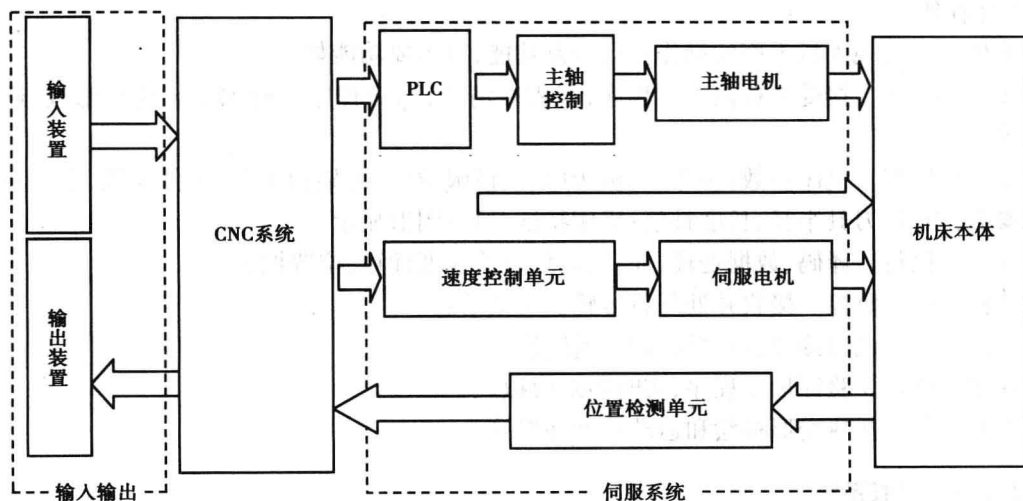


图 2.1 数控机床的构成

2.1.1 输入输出装置

在数控机床上加工零件时,首先根据零件图样上的零件形状、尺寸和技术条件,确定加工工艺,然后编制出加工程序,程序通过输入装置,输送给机床数控系统,机床内存中的零件加工程序可通过输出装置输出。输入输出装置是机床与外部设备的接口,常用的输入装置有软盘驱动器、RS-232 串行通信接口、MDI 方式、网络接口等,具体见表 2.1。