

SHUKONG JIAGONG CAOZUO YU
BIANCHENG JISHU SHIYONG JIAOCHENG

数控加工操作与 编程技术实用教程

李娟 朱克忆 编著



湖南大学出版社

数控加工操作与编程 技术实用教程

李娟 朱克忆 编著



YZLI0890128322

湖南大学出版社

内 容 简 介

本书是数控加工手工编程、自动编程以及数控机床操作的实验指导教材。内容主要包括数控加工工艺、Fanuc 18i-MB 数控系统手工编程、三轴立式数控加工中心操作以及常用 CAM 软件的基本操作和编程实例。书中列举很多典型加工实例,供读者实际训练使用。

本书通俗易懂,使读者快速入门并掌握一些使用的经验。本书可作为大中专院校师生的实训教材使用,也可供从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工操作与编程技术实用教程/李娟,朱克忆编著. —长沙:湖南大学出版社,2011.11

ISBN 978-7-5667-0015-5

I. ①数… II. ①李… ②朱… III. ①数控加工—程序设计—中等专业学校—教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 214874 号

数控加工操作与编程技术实用教程

Shukong Jiagong Caozuo Yu Biancheng Jishu Shiyong Jiaocheng

编 者: 李 娟 朱克忆

责任编辑: 张建平 程 诚

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山

电 话: 0731-88822559(发行部), 88821593(编辑室), 88821006(出版部)

传 真: 0731-88649312(发行部), 88822264(总编室)

电子邮箱: presswanghj@hnu.edu.cn

网 址: <http://www.hnupress.com>

印 装: 衡阳顺地印务有限公司

开本: 787×1092 16 开

印张: 9.25

字数: 243 千

版次: 2011 年 11 月第 1 版

印次: 2011 年 11 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-5667-0015-5/TH·50

定价: 20.00 元

版权所有,盗版必究
湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

前 言

数控加工是一门实践性、应用性很强的生产技术。本书是数控加工编程与操作的实训指导教材,主要内容包括数控加工工艺、手工编程和自动编程以及数控机床操作。本书在选择手工编程和自动编程实例时,注重选择零件的代表性和典型性。

目前,对于复杂曲面的数控加工,主要依靠 CAM 软件来执行数控加工自动编程。行业内应用较多的,比较典型的 CAM 软件主要有 Master-CAM、PowerMILL 以及 UG NX。鉴于此,本教材对以上三种软件的相应功能分别作了介绍。

本书特别强调教材的实用性。各章内容有较强的独立性,选择有代表性的数控加工实例,目标明确,读者可以挑选教材中的相关章节单独学习和参考,也可按照教材的思路,依次阅读各章内容,以全面掌握数控加工编程及操作技能。

作者长期从事数控加工编程与操作方面的科研教学实验工作,深感有必要编写一本实训教材。本书结合相关参考文献,基于指导学生开展课外创新项目所积累经验而成,可作为大中专院校师生的实训教材使用,也可供从事数控加工的工程技术人员参考。

由于编者水平有限,时间仓促,难免存在一些错误和不妥之处,恳请批评指正。

编 者

2011 年 6 月

目 次

1 数控加工技术概述

1.1 零件加工流程	(1)
1.2 数控加工技术溯源	(2)
1.3 数控加工技术基本概念	(2)
1.4 数控机床的分类及其应用	(3)
1.5 数控机床加工的特点	(4)
1.6 数控机床的发展趋势及技术指标	(5)
1.7 数控加工原理	(7)
1.7.1 数控机床的基本构成	(7)
1.7.2 数控系统的工作过程	(8)
1.7.3 插补原理	(10)
复习思考题	(14)

2 数控加工工艺分析与编程基础知识

2.1 数控加工工艺概述	(15)
2.1.1 数控加工工艺的基本特点	(15)
2.1.2 数控工艺的主要内容	(15)
2.2 数控加工工艺分析	(16)
2.2.1 零件数控加工合理性分析	(16)
2.2.2 数控加工零件图工艺分析	(17)
2.2.3 确定零件的安装方法和选择夹具	(17)
2.2.4 确定对刀点和换刀点	(18)
2.2.5 确定加工路线	(19)
2.2.6 选择切削刀具	(20)
2.2.7 切削用量的选择	(21)
2.3 数控加工误差分析与控制	(22)
2.4 数控加工工艺路线设计	(23)
2.5 数控加工工序设计	(24)
2.6 填写数控加工工序卡	(25)
2.7 数控编程基础知识	(25)
2.7.1 字符与代码	(26)
2.7.2 字及其种类	(29)
2.7.3 程序格式	(33)

2.7.4 数控机床的坐标系	(34)
复习思考题	(36)
3 Fanuc 数控铣削手工编程	
3.1 Fanuc 数控系统程序的基本格式	(37)
3.2 Fanuc 数控系统的常用代码	(38)
3.3 坐标系及其相关代码	(39)
3.4 基本 G 代码	(41)
3.5 刀具补偿代码	(43)
3.6 常用固定循环代码	(45)
3.7 Fanuc 数控系统手工编程实例	(48)
复习思考题	(53)
4 Fanuc 数控系统铣削加工机床操作	
4.1 Fanuc 18i-MB 数控系统的控制界面介绍	(55)
4.2 Fanuc 18i-MB 数控系统的基本操作	(59)
4.3 Fanuc 18i-MB 系统对刀操作及各种加工方式	(62)
4.4 设置刀具补偿参数	(64)
5 阶梯底座零件数控加工自动编程	
5.1 MasterCAM 软件基本操作	(65)
5.1.1 软件基本介绍	(65)
5.1.2 软件的基本界面	(66)
5.1.3 MasterCAM 系统功能介绍	(66)
5.2 MasterCAM 编程流程	(67)
5.3 阶梯底座零件数控加工自动编程详解	(67)
5.4 完成零件的铣削加工	(72)
复习思考题	(87)
6 汽车灯槽凸模零件数控加工自动编程	
6.1 PowerMILL 软件概述	(89)
6.1.1 PowerMILL 软件的特点	(89)
6.1.2 PowerMILL 软件的功能及应用	(90)
6.1.3 PowerMILL2011 软件的工作界面	(91)
6.2 PowerMILL 软件的基本操作	(92)
6.2.1 PowerMILL 软件中的鼠标操作	(92)
6.2.2 与加工项目文件有关的操作	(93)
6.2.3 创建毛坯	(94)
6.2.4 创建刀具	(95)
6.2.5 设置进给率	(97)

6.2.6 设置安全高度	(98)
6.2.7 设置刀具路径开始点和结束点	(99)
6.3 PowerMILL 软件数控编程操作流程	(100)
6.4 车灯罩模具零件数控加工编程实例	(100)
复习思考题	(117)
7 手柄凸模零件数控加工自动编程	
7.1 UG NX 软件概述	(118)
7.1.1 UG NX CAM 模块的特点	(118)
7.1.2 UG NX CAM 模块主要加工方式	(118)
7.1.3 UG NX 7.5 数控编程工作界面	(119)
7.1.4 UG NX 软件中的鼠标操作	(120)
7.2 手柄凸模数控高速加工编程实例	(120)
7.2.1 数控编程工艺分析	(121)
7.2.2 详细编程过程	(121)
复习思考题	(139)
参考文献	(140)

1 数控加工技术概述

本章主要内容

1. 零件加工流程。
2. 数控加工技术溯源。
3. 数控技术的基本概念。
4. 数控机床的分类及其应用。
5. 数控技术的发展及技术指标。
6. 数控加工原理。

在机械制造领域,传统的手工操作正在逐步地减少,取而代之的是自动化程度不断发展的机械操作。得益于计算机技术的高速发展,数字控制机床获得了越来越多的应用。在集中讨论数控加工技术之前,让我们对零件的机械加工流程进行一番梳理,这样可以加深大家对机械加工和数控技术的全面认识。

1.1 零件加工流程

如图 1-1 所示,是传统机械加工的流程图。

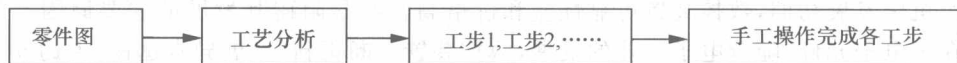


图 1-1 传统机械加工流程

在传统机械加工过程中,首先工艺人员对零件图进行加工工艺分析,并结合工艺装备和零件加工精度以及表面质量要求等条件,制订出合理的机械加工工序卡,即完善该零件加工的每一个工步内容,如铣削加工工序,包括定位、装夹、粗加工、半精加工、精加工、清角以及检测等工艺过程。操作人员按照这些工艺过程,手工操作机床完成零件加工。传统机床的开车、停车、走刀、主轴变速等操作都是由工人直接手工完成的,零件的加工质量很大程度上取决于操作人员的工作态度和技能水平,而且劳动强度大,加工效率不高。

应用数控技术后的现代机械加工流程图如图 1-2 所示。

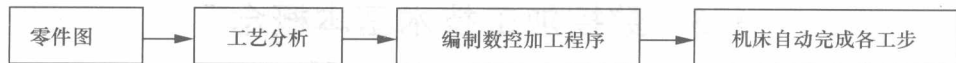


图 1-2 现代机械加工流程

采用数控机床加工零件,首先根据零件图纸,按照规定的代码将加工内容、尺寸和操作步骤等以数字指令的形式记录在数控信息载体上,然后将这些信息输入数控装置,数控装置再将

输入的信息进行运算处理后转换成驱动伺服机构的指令信号,最后由伺服机构控制机床主轴刀具等相应执行部件完成各种动作,自动地加工出零件。这样,加工过程中大大减少了人工参与的操作,从而降低了人为因素对加工质量和效率的影响。

1.2 数控加工技术溯源

数控加工技术是近代发展起来的一门新兴技术。20世纪40年代以来,由于航空和航天技术的飞速发展,对各种飞行器的加工提出了要求。这些飞行器零件的形状大都相当复杂,材料多为难加工的合金。为提高强度、减轻质量,常用整体材料,铣空成蜂窝状等结构。用传统的机床和工艺方法进行加工,不能保证精度,也很难提高生产效率。1952年,美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床,这是一台三坐标、采用脉冲乘法器原理的直线插补连续控制铣床,其数控装置采用电子管元件。随着电子计算机技术的发展,使机床数字化控制的设想成为现实。数控技术对机床行业产生了深远的影响,数控机床的品种已经从铣床、镗床逐步发展到车床、钻床、磨床、自动换刀机床、测量机和绘图机等,其应用范围也从航空军事部门逐步扩大到汽车、建筑、机床、造船以及广大的民用机械制造行业。数控机床在提高生产率方面具有显著的效果,据不完全统计,数控车床可比普通车床的生产率高3~12倍,数控铣床和自动换刀数控机床(即加工中心)与普通机床相比,生产率皆可提高10倍以上。1958年,加工中心的出现,标志着数控机床发展到了一个更重要的阶段。计算机直接进行多机床控制系统(DNC, Direct Numerical Control)和自动实现最优控制的适应控制(AC, Adaptive Control)的出现,以及小型计算机数控机床(CNC, Computerized Numerical Control),计算机辅助制造(CAM, Computer Aided Manufacturing),柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System),计算机集成制造系统(CMIS, Computer Manufacture Integrate System)等的广泛应用,进一步说明,数控机床已经成为现代机械制造生产过程的重要组成部分。

数控机床发展初期,数控装置可靠性差和价格高曾经是阻碍其发展的主要原因。数控设备关键在于电子元件,随着电子工业的发展,数控装置不断更新,发展异常迅速,大约5年更新一次。1952年制成的第一代数控装置采用电子管元件,1959年就采用了晶体管,发展为第二代数控,1965年改用集成电路,使第三代数控装置达到了新的水平,1970年进一步采用小型计算机,1975年以后,大部分数控装置都采用了微处理器。这样,使得数控装置的可靠性得到了很好的保障。

由于数控装置可靠性的大大提高,售价的大幅度下降,配套元件系统的完善,除专业的数控机床生产厂外,一般机床厂皆可制造,数控机床的适用范围进一步得到扩大。其中数控车床的应用最为普遍,外圆和端面、一般的轴类和端盖类零件都可在数控车床上加工。加工中心可以达到一般坐标镗床的加工精度,以工件为中心,集中多工序自动加工,得到广泛的应用。

1.3 数控加工技术基本概念

(1) 数字控制。

数字控制简称数控(Numerical Control, 简称 NC), 国家标准(GB8129—87)定义:“用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。”定义中的“机床”,不仅指金属切削机床,还包括其他各类机床,如特种加工类和板材加工类等数控机床。

(2) 数控机床和数控系统。

数控机床是按国际或国家以及生产厂家规定的数字和文字编码方式,把各种机械位移量、运转参数、辅助功能(如刀具变换、切削液自动供停等)用数字、文字符号表示出来,通过能识别并处理这些符号的微电子系统变成电的信号,继而利用相关的电气元部件把电能转换成机械能,实现预期的机械动作,从而完成加工任务的一种机床。

数控机床使用的微电子系统,通常称为数字控制系统(Numerical Control System),习惯称作数控系统。

(3) 坐标轴数与联动轴数。

数控机床的坐标轴数定义了机床具备的可以独立运动的坐标轴数。一台机床根据需要可以有若干个坐标轴数。联动轴数则定义数控机床具备的可以同时联合运动的机床坐标轴数。理论上,五轴联动机床已经可以使刀具加工到空间中的任何位置,因此,多轴联动机床一般配置到了五轴。

(4) 数控机床的精度。

数控机床的精度主要是指定位精度和重复定位精度。

定位精度是指对所要求的定位位置有多大偏差距离,是用相对于所要求的定位位置偏离 $\pm n$ 个微米来表示的。

重复定位精度指的是机床重复运动到目标位置时,实际位置落在某一定范围内的精度,其离散度用平均值的 $\pm n$ 个微米来表示。

(5) 脉冲当量。

数控系统向运动执行机构发出的最小行程量。脉冲当量是定位机构中的最小位置检测量。

1.4 数控机床的分类及其应用

数控机床可以按以下几种方式进行分类。

(1) 按控制刀具相对于工件移动的轨迹可分为三类。

①点位控制数控机床:点位控制系统只要求控制刀具从一点移到另一点的准确位置,即控制刀具对工件的定位,而对定位过程中的运动轨迹没有严格的要求,而且运动过程中也不产生切削,这类控制系统称为点位控制系统。如数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

②直线切削控制数控机床:直线控制系统是控制刀具(或工作台)以适当的速度,按平行于坐标轴,或与坐标轴成 45° 的方向做直线切削运动。这类系统不能做任意斜率的直线切削运动,但切削过程中的速度是可控制的,而且还有主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择、刀具长度与半径补偿等功能。如简易数控车床、一些组合机床等。

③连续轮廓切削控制数控机床:连续控制系统又称轮廓控制系统。它对两个或两个以上的坐标方向的位移量和速度进行严格的不间断控制,即控制运动的轨迹与速度。本系统能加工曲面、凸轮、锥面等复杂形状的零件,其运动轨迹可以是直线、圆弧、抛物线或螺旋线等。如常用的数控车床、数控铣床、加工中心等设备均采用连续控制系统。

连续控制系统的核心部件是插补器,它能进行直线、圆弧的控制加工,有的系统还具有抛物线或高次曲线的插补能力。

(2) 按伺服系统的控制方式可分为三类。

①开环控制数控机床:对应于一个进给脉冲,经过放大后驱动步进电机转动一个角度,再经过传动机构(齿轮副和滚珠丝杆)使工作台移动一个脉冲当量的距离。这种不带有检测反馈装置的伺服系统称为开环系统。

开环控制数控机床结构简单,调试容易,造价低,在经济型数控机床中有广泛应用。

②半闭环控制数控机床:用滚珠丝杆或电机轴的转动量与数控装置的命令相比较,工作台的实际移动量没有考虑进来,称为半闭环控制数控机床。这种系统的检测元件简单,价格便宜,系统稳定性较好且调试比较容易,配上传动误差小的滚珠丝杆,使半闭环伺服系统得到比较广泛的应用。

③闭环控制数控机床:采用直线位移测量元件,测量机床移动部件的位置,将测量结果反馈并与数控装置命令的移动量相比较,两者存在差值时,进行相应的补偿控制,称为闭环控制数控机床。闭环系统可以消除整个放大部分与传动部分的误差和间隙,但这种直线位移测量装置价格较贵,安装与调试都比较复杂而且不易保养,一般应用于高精密度数控机床中。

(3)按加工对象分类。

目前用得较普遍的数控机床可归纳如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床的种类和主要用途

类别	主要用途	典型工件举例
车床	车削各类轴	轴
铣床	平面轮廓的加工、立体曲面形状的铣削	凸轮、样板、冲模、压模、铸造模
加工中心机床	一次装夹后进行铣、钻、绞、攻丝以及镗孔等	齿轮箱框架、飞机零部件、复杂型面
钻床	用于加工孔系	多孔零件
镗床	以控制定位为主的各种镗削加工	箱体件
磨床	凸轮、轧辊和其他成型磨削	定时凸轮、平面凸轮、轧辊、阳冲模
电火花机床	刀具难以切削成型的零件部位	带深长型腔、狭窄长槽的零件
线切割机床	平面轮廓	电机内芯镶片

1.5 数控机床加工的特点

数控机床以其适应性强、加工质量稳定、效率高、精度高等特点在机械加工中得到广泛应用,其主要特点如下。

(1)保持加工零件精度,提高其质量稳定度。

数控加工的切削量、进给速度、主轴转参数、使用刀具等加工所需条件都可根据工艺要求,预先编程,加工过程可避免人为的干扰因素,若引入自适应控制功能,则不仅可保持加工条件不变,而且还可达到最优化,这样大大提高了同一批零件加工一致性,同时可以利用软件进行误差补偿,以获得更高的加工精度和重复精度。

(2)加工形状复杂的零件。

采用二轴以上联动的数控机床,可以加工母线为曲线的旋转体、凸轮、各种复杂空间曲面的零件,能完成普通机床难以完成的加工。

(3)提高生产率。

数控加工时,由于所用夹具的标准化,减少了夹具的需求量,使工艺准备时间缩短,由于编

好了加工程序,减少了加工过程中的停机时间,缩短了整个加工时间。由于有较高的重复定位精度与一致性,可以节省检验时间,当加工零件改变时,只需改变程序,节省了准备与调整时间,由于提高了与基准面相关尺寸的加工精度,从而提高了装配的效率。这些都有效地提高了生产率,与普通机床相比可提高2~3倍。如果使用带自动换刀功能的数控加工中心机床,可进行多道工序的连续加工,缩短了半成品的周转时间,生产率可提高十几倍至几十倍。

(4)减轻劳动强度,减少操作失误,减少废品、次品数量。

(5)提高生产管理水平。

用数控机床加工,能准确计算零件加工时间,加强了零件周转计划性,可以实行优化调度,简化和减少了检验、工夹具准备、半成品调度等管理工作,这些都有利于管理水平的提高。

(6)有利于机械加工综合自动化发展。

数控机床是机械加工自动化的基本设备,FMC、FMS、CIMS等综合自动化系统都必须具备数控机床,由于数控机床控制系统具有通讯接口,适用于计算机之间连接,组成工业局部网络,应用制造自动化协议(MAP)规范,实现生产过程的计算机管理与控制。

1.6 数控机床的发展趋势及技术指标

数控机床作为高新技术产品,集现代制造技术、计算机、通讯、控制、气液电等新技术为一体,它始终伴随着这些技术的发展而发展。数控机床无论在提高其单机自动化水平,或以数控机床为核心的系统自动控制方面都呈现出蓬勃发展的势头。作为单机的发展,目前有如下几种趋势。

(1)高速化。

数控机床的“高速化”主要体现在主轴转速和进给速度两个方面。如瑞士IBAG公司、意大利Omlet公司、德国GMN公司使用磁浮轴承的高速电主轴最高转速可达数十万转每分钟以上,加工中心换刀速度快达1.5s。两次相邻切削的间隔辅助时间为4.5s。在切削速度方面,目前使用硬质合金刀具和超硬材料涂层刀具车削和铣削低碳钢的速度达500m/min以上,而陶瓷刀具可达800~1000m/min,比高速钢刀具30~40m/min的速度提高了数十倍;精车速度甚至达1400m/min。

(2)高精度化。

现代科学技术与生产的发展,对机械加工与测量提出了越来越高的精度要求。比如:大规模集成电路的线宽已降至亚微米级,磁盘与拾磁头之间的间隙已减少到0.3 μm 。航天、核聚变使用的一些光学镜片尺寸及粗糙度以纳米级衡量,人类已进入了纳米技术时代。这就要求一般机械加工设备加工精度达0.1~1 μm ;电子及航空工业要求达0.005~0.1 μm ,加工表面粗糙度达 $R_a0.001\mu\text{m}$ 。随着数控系统及伺服系统性能的提高,数控机床的加工精度也在不断提高。例如:车削中心的尺寸精度一般可达IT6,加工表面粗糙度为 $R_a0.8\sim0.4\mu\text{m}$ 。高精度化的另一含义是超精密加工。80年代研制的数控超精密车床,主轴系统采用空气静压轴承,主轴回转精度达0.025 μm ;进给系统采用静压导轨及配有激光干涉仪的微进给机构,最小进给增量为0.01 μm ,加工精度0.1 μm (形状精度),表面粗糙度为 $R_a0.01\mu\text{m}$ 。

(3)复合化。

以减少工序数,减少辅助时间为主要目的的复合加工正在朝着多轴、多系列控制功能方向发展。比如:复合加工车床,一般被称为车削中心,可完成车、铣加工:车内外表面,钻横孔、横

螺纹孔、端面孔、端面螺纹孔、端面及侧面偏心孔、背面加工,铣槽,铣扁等,一次装卡可加工出成品零件。利用这种车削中心加工横孔及进行铣削时,要求主轴必须有分度功能、定位停车功能和圆周进给功能,通常称这种主轴为C轴,必须实现X、Z、C轴联动控制才能加工外圆或端面沟槽,如圆柱凸轮、端面凸轮等。车削中心的刀盘上应有动力刀位,才能安装钻头、铣刀。目前已开发出24刀位转塔刀架,可设6~8个动力刀位,相当于一个小型刀库。对于多轴多系统混合控制的双转塔数控车削中心,两个刀架运动可各自独立,功能更强。如果增设第二主轴,则可夹持工件加工好的面,转位后利用对置刀架加工工件背面及原先被夹持的面。

(4)智能化。

人工智能是一门新兴的边缘学科,具备人工智能功能的设备呈现出与人类的智能行为(如理解语言、学习、推理和解决问题等)相关的特性。用智能化思路确定最佳调度或组合问题,是自动化生产管理的新途径。数控机床的智能化体现在用各种测量传感器对切削加工前后和加工过程中各种参数进行监测,并通过计算机控制系统作出判断,自动对异常现象加以补偿和调整,以保证加工过程顺利进行并加工出合格产品。目前国外的数控加工中心多具有以下智能化功能:

①对刀具长度、直径和刀具破损的监测。加工前测出刀具长度、直径数值,自动与程序中规定数值进行比较,若超差则进行自动补偿或换刀;加工过程中可监测出刀具破损,自动停车,换刀后重新启动加工。

②对切削过程进行监控。切削过程中对主轴功率和扭矩进行监控,自动调节进给速度值,使其达到规定的功率和扭矩值范围,从而做到最大限度提高生产率而不导致破坏性的超功率切削。

③工件自动检测和补偿。加工前测量毛坯尺寸及装卡位置,自动确定程序起点位置,加工后测量零件是否合格,自动进行误差校正以补偿下一个加工件。

数控机床的主要技术指标如表1-2所示。

表 1-2 数控机床主要技术指标

序号	指标名称	含义	功能
1	行程	机床运动部件的运动范围	定义机床的加工范围
2	定位精度	实际距离与理想距离的偏差	定义零件加工尺寸精度
3	重复定位精度	运动部件第二次到达目标位置与第一次到达目标位置的偏差	定义重复加工零件的尺寸精度
4	进给速度	机床运动部件的运动速度	定义加工效率
5	快进速度	机床运动部件的快速进给速度	定义工作效率
6	联动轴数	机床实现同时运动的运动轴数目	定义机床可加工区域
7	伺服进给类型	机床驱动类型	驱动机床
8	主轴功率	机床主轴电机功率	提供主切削动力
9	主轴转速	机床主轴旋转速度	提供切削速度
10	主轴扭矩	机床主轴输出扭矩	提供切削力

1.7 数控加工原理

在数控机床上加工零件时,首先根据零件的形状和尺寸要求按照工艺要求规划出走刀路径,并确定相应的切削用量等参数,创建出数控加工用的 NC 程序,然后将上述程序和数据以文字和数字代码形式输入数控装置,通过译码器将程序数据逐段传给数控装置有关部分,数控装置一边进行计算,一边将进给脉冲分配给机床各个坐标的伺服系统,伺服系统根据数控装置发出的信息指令,驱动机床相关部件,使刀具和工件严格执行各段程序规定的相对运动,从而使机床精确地加工出符合图纸要求的零件。

1.7.1 数控机床的基本构成

数控机床主要由数控部分及机床部分构成。一般将数控部分划分为三个小部分,包括控制介质、数控装置以及伺服系统。数控机床的基本构成如图 1-3 所示。数控机床工作时,首先将被加工零件的各种信息通过编程系统编成加工程序(手工编程时这部分工作由编程人员直接书写),用代码形式记载在数控介质上(早期的是穿孔纸带,现在广泛使用的是程序文本),由输入阅读装置将其转变成电信号,数控装置对输入的指令信号进行运算和控制,将结果送入伺服系统,经转换及功率放大后通过进给驱动机构驱动机床执行各种动作,自动完成工作循环。

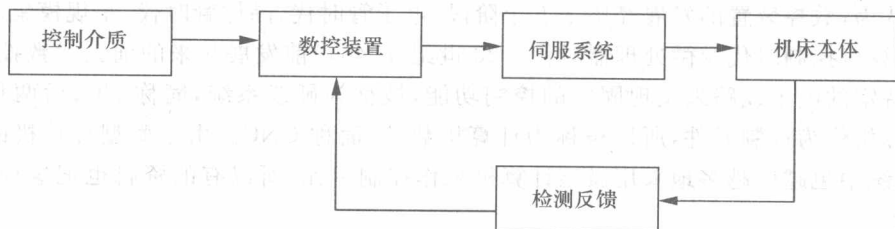


图 1-3 数控机床的构成

(1) 控制介质。

数控机床加工过程中不需人的干预,被加工零件的几何尺寸、刀具运动轨迹及所有的辅助动作都必须事先用数控装置所能接受的数字和字母代码记录下来并存储在控制介质上。

早期的控制介质主要是穿孔纸带、穿孔卡、软盘及磁带等,现在广泛应用的是由键盘或各类通信接口直接将各种信息输入机床。八单元穿孔纸带是早期最常用的控制介质,我国机械工业部 1983 年制定了 JB3208—83 标准,其中对 NC 穿孔纸带做了规定,符合 ISO—6983 八纸带标准,其尺寸及规格如图 1-4 所示。NC 纸带每行最多可穿 8 个 $\phi 1.83$ mm 的孔,并且每行必须有一个 $\phi 1.17$ mm 的同步孔(又叫中导孔)。根据每行 8 个孔位上有无孔的排列组合,表示

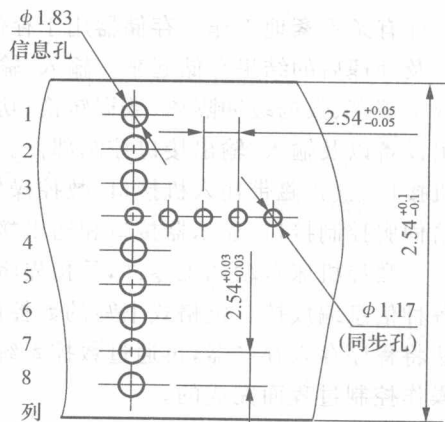


图 1-4 8 单元标准穿孔纸带

不同的代码,记录被加工件的各种信息。

(2) 数控装置。

数控装置是数控机床的核心,由计算机数字控制器、运算器及输入、输出装置组成,输入装置如纸带阅读器,CRT 显示器和键盘等。读入的代码转换成电信号,通过控制器和运算器进行逻辑判断、数值运算并经过译码转换成脉冲信号送给输出装置,再经过功率放大后送入伺服系统。计算机与伺服系统的连接是通过软硬件接口进行信号转换、数据传输及实时控制的。

(3) 伺服系统。

伺服系统是数控装置与机床的连接环节。其作用是将数控装置发出的脉冲信号转换成机床运动部件的平移、旋转或其他运动。它关系到机床的加工精度、加工表面质量及生产率。相对于每一个脉冲信号,机床移动部件的位移量称“脉冲当量”。

(4) 机床本体。

不同类型的数控机床,其主机的组成也不同,但主轴、主轴箱、床身、进给机构及传动机构这些共同部分,各类机床都不可缺少。其附属设备有液压冷却、润滑系统、液压或气动操作机构、排屑装置、机床防护装置和检测系统等。

1.7.2 数控系统的工作过程

要理解数控系统的工作过程,首先要对数控机床的心脏部件——数控装置的构成及其工作原理有一个全面的认识。

一般认为,数控装置的发展经历了五个阶段:电子管时代、晶体管时代、小规模集成电路时代、小型计算机控制时代及微处理器时代。20 世纪 60 年代前发展起来的前三代数控系统,由于是采用特定的电子线路来实现固定的控制功能,被称为硬线系统,简称 NC;后两种系统由于采用计算机作为控制元件,所以被称为计算机数控,简称 CNC。由于微型计算机的快速发展,数控系统中也越来越多地采用微型计算机来作控制单元,所以有的资料也把这种 CNC 称为 MNC 系统。

微型机数控系统的方框图如图 1-5 所示,它由中央处理器(CPU)、存储器和输入/输出接口电路等部分组成。CPU 是核心部分,它从存储器中依次取出组成程序的指令,经过译码和运算处理,向数控系统的各部分按顺序发出执行操作的控制信号,统一指挥和控制数控系统各部件有条不紊地工作。存储器用于存储系统软件和数控零件加工程序,并将运算的中间结果以及处理后的结果存储起来。输入/输出部分是数控系统与外界进行联系的桥梁和通道,实现数据锁存、数据缓冲隔离、数据转换、功率放大和通讯联络等功能。它包括各种类型的输入/输出设备以及输入/输出接口控制部件。典型的微型机数控系统输入/输出接口部件有纸带输入机接口、盒式磁带输入机接口、数控操作面板及机床上各种开关信号接口、纸带穿孔机接口、进给伺服控制接口、显示器接口和通讯接口等。

数控机床自动加工零件,是预先将零件加工轨迹的图形、尺寸和工艺参数以及辅助功能等各种信息编成按一定格式书写的数控语言程序,然后把这些程序转制成穿孔带或用键盘等方法将程序存入存储器,再通过数控系统读入该程序,并对它进行译码、数据处理、运算和输出等操作控制过程而完成的。

数控语言程序是由一行行程序段组成的,而程序段一般用文字地址格式表示。在程序段中出现的多数字符及代码数据有通用的功能含义,如程序段:

```
N100 G01 X200 Y150 F500;
```

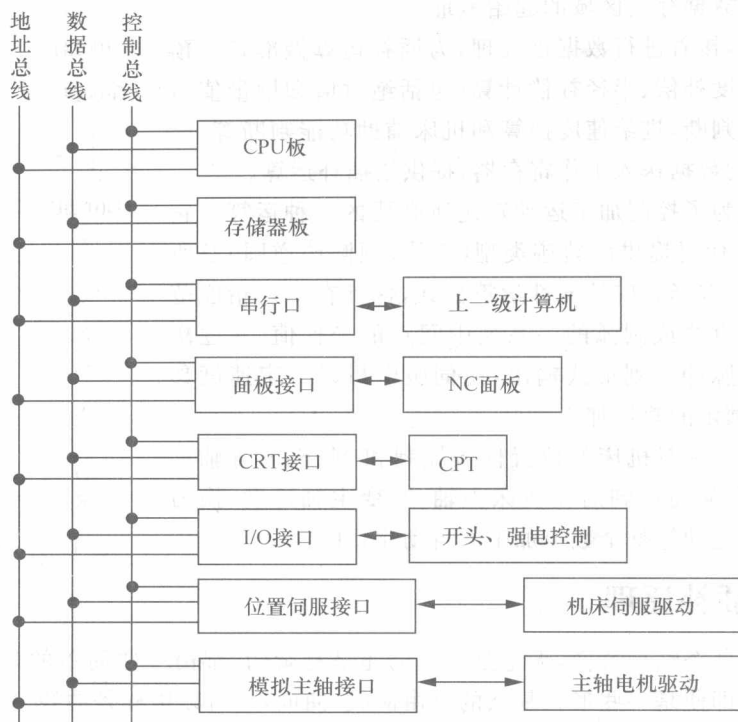


图 1-5 微型机数控系统结构框图

其中 N100 代表程序段顺序号, G01 代表直线插补, X200 和 Y150 代表 X 轴和 Y 轴移动的距离, F500 代表进给速度是 500 mm/min, 分号代表程序段结束。

随着数控技术的发展, 数控程序段的格式和内容也在不断发展, 通用的代码功能含义规定可参考本书第四章, 少量专用的文字地址代码的含义可参考具体数控系统厂家的解释说明。

微型机数控自动工作流程如图 1-6 所示。



图 1-6 数控系统工作流程图

数控系统工作时首先要将程序员为控制零件加工而编制的数控语言程序, 通过纸带、磁带(磁盘)或手动键入到存储器中去。

程序输入后, 启动数控系统运行, 控制系统从零件程序存储区逐段读出数控语言程序, 进行译码及预处理, 生成插补程序和机床各种控制程序需要的内部形式的信息表。译码的主要工作是把程序段中的各类数据根据其前面的文字地址送到相应的译码缓冲存储区中, 并同时完成对程序段的语法检查, 如发现语法错误立即报警。经过译码, 形成如图 1-7 那样的存放格式。数控程序段中的各地址码(如 N、G、X、Y、Z、F、M、S、T 等)在译码缓冲存储区中都占有固定的位置, 译码缓冲存储区首地址是知道的, 将首地址加某地址码在该区域中的偏移量, 可

以得到某地址码数据存放区域的起始地址。

译码结束后,接着进行数据预处理,为插补运算做准备。预处理包括刀具长度补偿、半径补偿计算(包括绝对值和增量值),象限和进给方向判断,进给速度换算和机床辅助功能判断等,以最直接、最方便的数据送入工作寄存器,提供给插补运算。

插补运算是为了控制加工运动轨迹所必要的一种运算。它根据数控语言 G 代码提供的轨迹类型(直线、顺圆或逆圆)及所在的象限、平面等选择相应的插补运算公式,保证在一定精度范围内计算出一段直线或圆弧的一系列中间点的坐标值,并逐次以增量坐标值或脉冲序列形式输出,使伺服电机以一定速度移动,控制刀具按预定的轨迹加工。

输出环节是实现机床的位置伺服控制和 M、S、T 等辅助功能的强电控制,从而达到启动机床主轴、改变主轴速度、换刀和控制加工进给运动等整个数控加工的自动化目的。

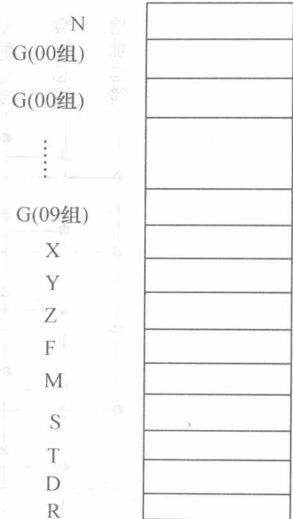


图 1-7 译码缓冲存储区

1.7.3 插补原理

构成零件的各个结构特征,无论是简单的还是复杂的,都由一些简单的几何元素组成,比如直线、圆弧等,即使是一些形状复杂的自由曲线、曲面,也可以由样条曲线、曲面进行拟合,然后使用插值或逼近的方法实现其数控加工。

数控机床如何加工出这些直线和圆弧呢?为使刀具与工件表面相对运动轨迹符合零件表面直线、圆(曲线)方程的要求,要使控制系统根据输入的信息(直线起点/终点坐标,圆弧起点/终点坐标,圆心坐标,半径,圆弧顺/逆走向等)通过规定的运算,把直线或曲线形状描述出来。一边算,一边根据计算结果向各坐标轴方向按比例分配进给脉冲从而得到所希望的轨迹,完成这一运算的过程称插补运算,实现这种插补运算的装置叫插补器。一般数控插补功能由逻辑电路实现,而计算机数控系统插补功能由软件和硬件实现。编制出各种曲线的插补程序,核心问题是如何根据原始数据,通过位置和轨迹运算即插补运算,在各坐标轴方向产生有规律的行程增量。

插补过程分为粗插补和精插补两个阶段。对于粗插补,是在曲线上插入若干数据点,以若干条微小的直线段逼近给定的曲线,通常取等距离的直线段 ΔL ,与进给速度成正比关系,插补功能由软件实现。对于精插补,则在粗插补计算出的每一条微小直线段的各坐标分量值间再进行“数据点的密化”,使每次插补在各坐标方向产生的行程增量以脉冲方式输给位置控制模块或步进电机驱动系统,插补功能由软硬件共同实现。

插补的算法很多,主要有数字脉冲相乘法、逐点比较法、最小偏差法、数字积分法、目标点跟踪法、单步追踪法以及一些高次曲线插补法。这些方法的共同特点是在保证加工精度要求的前提下,确定最大的插补间距,并计算出每一插补段的起止点在被加工零件轮廓曲线上的坐标值。

(1) 逐点比较法。

逐点比较法又叫代数演算法,顾名思义,就是每走一步都要将加工点的瞬时坐标同规定的图形轨迹相比较,判断一下偏差。如果加工点走到图形外面去了,那么下一步就要向图形内面走,如果加工点在图形内面,则下一步就要向图形外面走,以缩小偏差。这样就能得出一个非