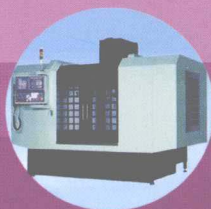


中等职业教育项目教学系列教材 · 机械

数控铣床/加工中心 编程与加工

张方阳 主 编
陈小燕 杨世杰 副主编

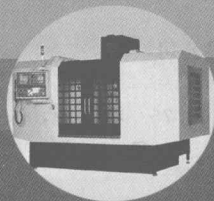
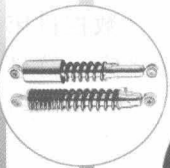


清华大学出版社



数控铣床/加工中心 编程与加工

张方阳 主 编
陈小燕 杨世杰 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书采用循序渐进的方法,通过项目教学,首先介绍了数控铣床的基本概念,再通过手工编程、变量编程(宏程序)、自动编程等加工实训项目,对数控编程与加工的方法进行讲解,按范例进行项目式实战培训,以使读者与工程实际同步,尽快掌握铣床/加工中心的编程与加工方法。书后附有大量的技能鉴定考级试题样例。

本书适合中职以上机械设计与制造专业及相关专业的教师和学生使用,也可作为从事数控加工和CAM工作的企业初、中、高级工程技术人员的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床/加工中心编程与加工/张方阳主编.—北京:清华大学出版社,2010.4

(中等职业教育项目教学系列教材·机械)

ISBN 978-7-302-21242-3

I. 数… II. 张… III. ①数控机床:铣床—程序设计—专业学校—教材 ②数控机床加工中心—程序设计—专业学校—教材 ③数控机床:铣床—加工—专业学校—教材 ④数控机床加工中心—加工—专业学校—教材 IV. TG547 TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 179997 号

责任编辑:金燕铭 帅志清

责任校对:刘 静

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.75 字 数:455 千字

版 次:2010 年 4 月第 1 版 印 次:2010 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.50 元

产品编号:033037-01

前言

随着我国工业化水平的日益提高,数控机床的使用开始普及,其中数控铣床已成为我国工业高技术含量的技术代表。中职以上机械设计与制造专业及相关专业的教师及学生,从事数控加工和 CAM 工作的企业初、中、高级工程师技术人员,均需要系统地学习数控铣床的专业知识,尤其是需要通过学习数控铣床的实际加工案例,积累经验。

全国数控技能竞赛的常规化,使得数控行业的专业技术更加重要。张方阳老师指导的学生刘振峰在 2009 年全国职业院校技能大赛中,获得了数控铣床一等奖的第一名,张方阳老师本人获得了全国优秀指导教师称号。本书采用项目教学法,通过大量的竞赛实题,对数控编程与加工方法进行讲解,按范例进行项目式实战培训,使读者掌握具体加工编程方法,以与工程实际同步。

本书除了基本的手工编程,还通过详细的案例讲解了变量宏程序编程、CAM 软件 Mastercam 和 UG 的自动编程,使读者对数控铣床/加工中心的编程方法能够详细、全面地了解并加以对比,将编程和加工很好地结合在一起,避免了以往理论和实际相脱钩的现象。

本书由浅入深,由数控铣床的基本操作到编程,由手工编程加工、变量宏程序编程加工到自动编程加工,以项目为引导,以理论够用为度,内容难易程度适当,案例分析及操作过程详细,书后附有中、高级工和技师技能鉴定考级试题样例,非常有助于读者提高数控铣床的编程和加工能力。

本书适合中职以上机械设计与制造专业及相关专业的教师和学生使用,也可作为从事数控加工和 CAM 工作的企业初、中、高级工程师技术人员的参考资料。

本书第一部分数控铣床/加工中心概述由陈小燕和刘带春编写,第二部分编程与加工模块由张方阳、杨世杰和张彰才编写,第三部分附录由杨世杰和张方阳整理,全书最后由张方阳统稿。

在本书的编写过程中,得到了华南理工大学阮锋教授的悉心指导,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,望广大读者批评指正。

编 者

2009 年 9 月

导言 数控铣床/加工中心概述	1
一、数控铣床的分类	1
二、数控铣床的主要功能	5
三、数控铣床的加工工艺范围	6
四、数控铣床的工作原理	7
五、数控铣床的坐标系与运动	10
六、加工中心	16
思考与练习	16
模块一 数控铣床基本操作	18
项目一 FANUC 数控铣削系统操作	18
项目二 华中数控铣削系统操作	26
项目三 手动铣削及双边分中对刀	33
项目四 程序调试与自动加工	39
模块二 手工编程加工	44
项目一 平面铣削加工	44
项目二 斜面铣削加工	49
项目三 正六边形加工	53
项目四 槽铣削加工	59
项目五 心形和多边形加工	70
项目六 旋转图形加工	75
项目七 比例缩放加工	84
项目八 薄壁圆角加工	88
项目九 拳击运动员模型加工	94
项目十 手表模型加工	99
项目十一 刻字	103
项目十二 孔加工	107

项目十三 倒斜角工件加工·····	113
项目十四 矩形牙嵌式离合器加工·····	119
项目十五 太极图形凸凹镜像配合加工·····	125
模块三 变量编程加工·····	131
项目一 平面铣削加工·····	131
项目二 椭圆环加工·····	136
项目三 四方锥台加工·····	140
项目四 圆锥台加工·····	143
项目五 半球体加工·····	147
项目六 半球型腔加工·····	151
项目七 半椭球体加工·····	155
项目八 半椭球型腔加工·····	159
项目九 凸轮加工·····	165
项目十 椭圆体倒圆角·····	168
项目十一 半圆柱体加工·····	172
模块四 自动编程加工·····	176
项目一 MasterCAM 二维零件加工·····	176
项目二 MasterCAM 三维零件加工·····	194
项目三 MasterCAM 综合零件加工·····	206
项目四 UG 的 2D 图形刀具轨迹设计·····	221
项目五 UG 模具型腔类零件铣加工·····	240
项目六 UG 模具凸模类零件铣加工·····	251
附录 A 中级工技能鉴定考级试题样例·····	265
附录 B 高级工技能鉴定考级试题样例·····	275
附录 C 技师技能鉴定考级试题样例·····	287
参考文献·····	310

数控铣床/加工中心概述

一、数控铣床的分类

数控铣床是一种用途广泛的数控机床,特别适合于加工凸轮、模具、螺旋桨等形状复杂的工件,在汽车、模具、航空航天、军工等行业得到了广泛的应用。数控铣床在制造业中具有重要的地位,目前迅速发展起来的加工中心也是在数控铣床的基础上产生的。由于数控铣削工艺较复杂,需要解决的技术问题较多,因此,铣削也是研究机床和开发数控系统及自动编程软件系统的重点。

(一) 按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类

按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类,数控铣床可分为数控立式铣床、数控卧式铣床和数控龙门铣床等。

1. 数控立式铣床

如图 0-1 所示,数控立式铣床主轴与机床工作台面垂直,工件安装方便,加工时便于观察,但不便于排屑。一般采用固定式立柱结构,工作台不升降。主轴箱作上下运动,并通过立柱内的重锤平衡主轴箱的重量。为保证机床的刚性,主轴中心线距立柱导轨面的距离不能太大,因此,这种结构主要用于中、小尺寸的数控铣床。

2. 数控卧式铣床

如图 0-2 所示,数控卧式铣床的主轴与机床工作台面平行,加工时不便观察,但排屑顺畅。一般配有数控回转工作台,便于加工零件的不同侧面。单纯的数控卧式铣床现在已比较少,多是在配备自动换刀装置(ATC)后成为卧式加工中心。

3. 数控龙门铣床

对于大尺寸的数控铣床,一般采用对称的双立柱结构,保证机床的整体刚性和强度,即数控龙门铣床,有工作台移动和龙门架移动两种形式。它适用于加工飞机整体结构体零件、大型箱体零件和大型模具等。

(二) 按数控系统的功能分类

按功能分类,数控铣床可分为经济型数控铣床、全功能数控铣床和高速铣削数控铣床等。

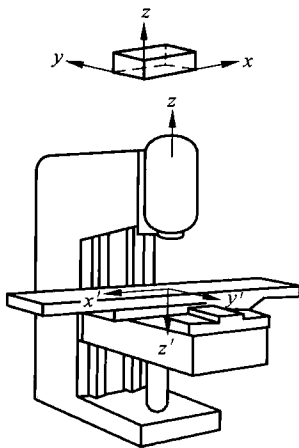


图 0-1 数控立式铣床

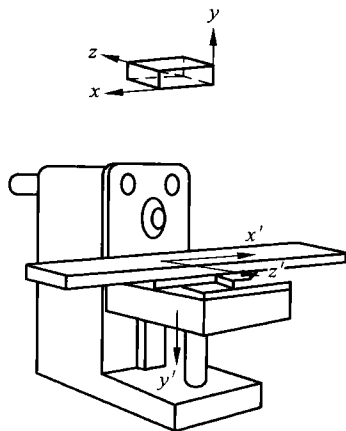


图 0-2 数控卧式铣床

1. 经济型数控铣床

经济型数控铣床一般采用经济型数控系统,如 SIEMENS 802S 等,采用开环控制,可以实现三坐标联动。这种数控铣床成本较低,功能简单,加工精度不高,适用于一般复杂零件的加工。经济型数控铣床一般有工作台升降式和床身式两种类型。

2. 多功能数控铣床

多功能数控铣床采用半闭环控制或闭环控制,数控系统功能丰富,一般可以实现四坐标以上联动,加工适应性强,应用最广泛。

3. 高速铣削数控铣床

高速铣削是数控加工的一个发展方向,技术已经比较成熟,已逐渐得到广泛的应用。这种数控铣床采用全新的机床结构、功能部件和功能强大的数控系统,并配以加工性能优越的刀具系统,加工时主轴转速一般在 $8000\sim 40\,000\text{r/min}$,切削进给速度可达 $10\sim 30\text{m/min}$,可以对大面积的曲面进行高效率、高质量的加工。但目前这种机床价格昂贵,使用成本比较高。

(三) 按运动轨迹分类

按运动轨迹分类,数控铣床可分为点位控制系统铣床、直线控制系统铣床和轮廓控制系统铣床等。

1. 点位控制系统铣床

点位控制系统铣床的特点是只控制刀具相对于工件定位点的位置精度,不控制点与点之间的运动轨迹,在移动过程中刀具不进行切削。为了既提高生产效率又保证定位精度,机床工作台(或刀架)移动时采用机床设定的最高进给速度快速移动,在接近终点前进行分级或连续降速,达到低速趋近定位点,减少因运动部件惯性引起的定位误差。例如数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机及数控测量机等,就可采用简单而价格低廉的点位控制系统。

2. 直线控制系统铣床

直线控制系统铣床的特点是除了控制起点与终点之间的准确位置外,而且要求刀具由一点到另一点之间的运动轨迹为一条直线,并能控制位移的速度,因为这类数控机床的刀具在移动过程中要进行切削加工,直线控制系统的刀具切削路径只沿着平行于某一坐标轴方向运动,或者沿着与坐标轴成一定角度的斜线方向进行直线切削加工,采用这类控制系统的机床有数控车床、数控铣床等。

同时具有点位控制功能和直线控制功能的点位/直线控制系统,主要应用在数控镗铣床、加工中心机床上。

为了在刀具磨损后,在调整重磨后的刀具或更换刀具时能比较方便地得到合格的零件,这类机床的数控系统常具有刀具半径补偿功能、刀具长度补偿功能和主轴转速控制功能等。

3. 轮廓控制系统铣床

轮廓控制铣床又称连续控制铣床。它的特点是能够对两个或两个以上的坐标轴方向同时进行连续控制,并能对位移和速度进行严格、不间断的控制;这类数控机床需要控制刀尖整个运动轨迹,使它严格地按加工表面的轮廓形状连续地运动,并在移动时进行切削加工,可以加工任意斜率的直线、圆弧和其他函数关系曲线。采用这类控制系统的机床有数控铣床、数控车床、数控磨床、加工中心及数控绘图机等。

这类数控机床绝大多数具有两坐标或两坐标以上的联动功能,不仅有刀具半径补偿、刀具长度补偿功能,而且还具有机床轴向运动误差补偿,丝杠、齿轮的间隙补偿等一系列功能。

(四) 按伺服系统控制方式分类

按伺服系统控制方式分类,数控铣床可分为开环伺服系统铣床、闭环伺服系统铣床和半闭环伺服系统铣床等。

1. 开环伺服系统铣床

开环伺服系统控制方式不带位置测量元件。数控装置根据控制介质上的指令信号,经控制运算发出指令脉冲,使伺服驱动元件转过一定的角度,并通过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副,使执行机构(如工作台)移动或转动。图 0-3 为开环控制系统的框图,这种控制方式没有来自位置测量元件的反馈信号,对执行机构的动作情况不进行检查;指令流向为单向,因此被称为开环控制系统。

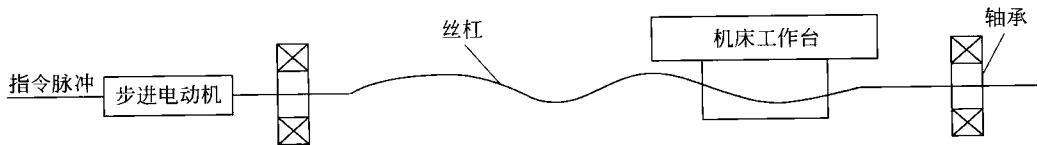


图 0-3 开环控制系统框图

步进电动机伺服系统是最典型的开环控制系统。这种控制系统的特点是结构简单,调试维修方便,工作稳定,成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传

动元件的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低。目前在国内多用于经济型数控机床,以及对旧机床的改造。

2. 闭环伺服系统铣床

闭环伺服系统是一种自动控制系统,其中包含功率放大和反馈,使输出变量的值响应输入变量的值。数控装置发出指令脉冲后,当指令值送到位置比较电路时,若工作台没有移动,即没有位置反馈量信号时,指令值使伺服驱动电动机转动,经过齿轮、滚珠丝杠螺母副等传动元件带动机床工作台移动。装在机床直线运动部件工作台上的位置测量元件测出工作台的实际移动量后,反馈到数控装置的比较器中与指令脉冲信号进行比较,并用比较后的差值进行控制。若两者存在差值,经放大器放大后,再控制伺服驱动电动机转动,直至差值为零时,工作台才停止移动。这种系统被称为闭环控制系统。图 0-4 为闭环控制系统框图。

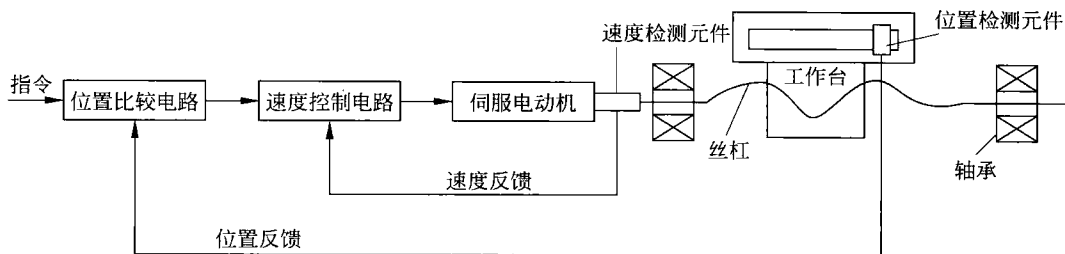


图 0-4 闭环控制系统框图

从理论上讲,闭环控制系统中机床的工作精度主要取决于测量元件的精度,并不取决于传动系统精度。因此,采用高精度测量元件可以使闭环控制系统达到很高工作精度。但是由于许多机械传动环节都包含在反馈环路内,而各种反馈环节具有丝杠与螺母、工作台与导轨的摩擦,且各部件的刚性、传动链的间隙等都是可变的,因此机床的谐振频率、爬行、运动死区等造成的运动失步,可能会引起振荡,系统不易稳定,调试和维修比较复杂。闭环系统的运动精度主要取决于检测装置精度,与传动链误差无关。

闭环伺服系统的优点是精度高、速度快,主要用在精度要求较高的数控镗铣床、数控超精车床、数控超精镗床等机床上。

3. 半闭环伺服系统铣床

目前,大多数数控机床采用半闭环伺服控制系统。这种控制系统不是直接测量工作台的位移量,而是通过旋转变压器、光电编码盘或分解器等角位移测量元件,间接测量伺服机构中执行元件的转角,如把测量元件安装在伺服电动机端部或丝杠端部,通过计算换算出工作台的实际位移量,再将计算值与指令值进行比较,用比较后的差值进行控制,使机床做补充位移,直到差值消除为止。这种系统中滚珠丝杠螺母副和工作台部件均在反馈环路之外,其传动误差等仍然会影响工作台的位置精度,故称为半闭环伺服控制系统。图 0-5 为半闭环伺服系统的框图。

半闭环伺服系统介于开环和闭环之间,由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单,因此装有精密滚珠丝杠螺母副和精密齿轮的半闭环系统被广泛地采用。目前已

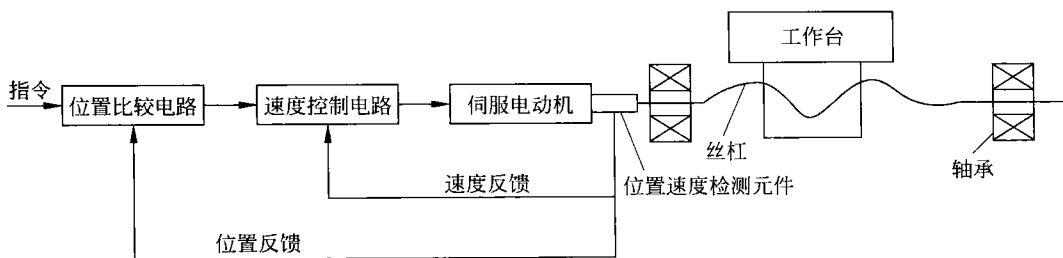


图 0-5 半闭环伺服系统框图

经把角位移测量元件与伺服电动机设计成一个部件,使用起来更为方便。半闭环伺服系统的加工精度显然没有闭环系统高,但是由于采用了高分辨率的测量元件,这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度。半闭环伺服系统调试比闭环系统方便,稳定性好,成本也比闭环系统低,是一般数控机床常用的伺服控制系统。

二、数控铣床的主要功能

不同档次的数控铣床的功能有较大的差别,但都应具备以下主要功能。

1. 铣削加工

数控铣床一般应具有三坐标以上联动功能,能够进行直线插补和圆弧插补,自动控制旋转的铣刀相对于工件运动进行铣削加工。坐标联动轴数越多,对工件的装夹要求越低,加工工艺范围越大。

2. 孔及螺纹加工

可以采用固定尺寸的孔加工刀具进行钻、扩、铰、镗、镗削等加工,也可以采用铣刀铣削不同尺寸的孔;在数控铣床上可以采用丝锥加工螺纹孔,也可以采用螺纹铣刀铣削内螺纹和外螺纹,这种方法比传统的丝锥加工效率要高很多。

3. 刀具半径自动补偿功能

在编程时,利用刀具半径自动补偿功能可以很方便地按工件实际轮廓形状和尺寸进行编程计算,而加工中可以使刀具中心自动偏离工件轮廓一个刀具半径,加工出符合要求的轮廓表面;也可以利用该功能,通过改变刀具半径补偿量的方法来弥补铣刀制造的尺寸精度误差,扩大刀具直径选用范围及刀具返修刃磨的允许误差;还可以利用改变刀具半径补偿值的方法,以同一加工程序实现分层铣削和粗、精加工,或用于提高加工精度。此外,通过改变刀具半径补偿值的正负号,还可以用同一加工程序加工某些需要相互配合的工件(如相互配合的凹凸模等)。

4. 刀具长度补偿功能

利用刀具长度补偿功能可以自动改变切削平面高度,同时可以降低在制造与返修时对刀具长度尺寸的精度要求,还可以弥补轴向对刀误差。

5. 固定循环功能

利用数控铣床对孔进行钻、扩、铰、镗和镗加工时,加工的基本动作是:刀具无切削快

速到达孔位—慢速切削进给—快速退回。对于这种典型化动作,可以专门设计一段程序(子程序),在需要的时候进行调用来实现。特别是在加工许多相同的孔时,应用固定循环功能可以大大简化程序。利用数控铣床的连续轮廓控制功能时,常常遇到一些典型化的动作,如铣整圆、方槽等,也可以实现循环加工。对于大小不等的同类几何形状(圆、矩形、三角形、平行四边形等),也可以用参数方式编制出加工各种几何形状的子程序,在加工中按需要调用,并对子程序中设定的参数随时赋值,就可以加工出大小不同或形状不同的工件轮廓及孔径、孔深不同的孔。目前,已有不少数控铣床的数控系统附带各种已编好的子程序库,并可以进行多重嵌套,用户可以直接加以调用,编程就更加方便了。

6. 镜像加工功能

镜像加工也称为轴对称加工。对于一个轴对称形状的工件来说,利用这一功能,只要编出一半形状的加工程序即可完成全部加工。

7. 子程序功能

对于需要多次重复的加工动作或加工区域,可以将其编成子程序,在主程序需要的时候调用它,并且可以实现子程序的多级嵌套,以简化程序的编写。

8. 数据输入、输出及 DNC 功能

数控铣床一般通过 RS 232C 接口进行数据的输入及输出,包括加工程序和机床参数等,可以在机床与机床之间、机床与计算机之间进行。

数控铣床按照标准配置提供的程序存储空间一般都比较小,尤其是中低档的数控铣床,大概有几十至几百千字节。当加工程序超过存储空间时,就应当采用 DNC 加工,即外部计算机直接控制数控铣床进行加工,这在加工曲面时经常遇到。否则,只有将程序分成几部分分别执行,操作烦琐,影响生产效率。

9. 数据采集功能

数控铣床在配置了数据采集系统后,可以通过传感器(通常为电磁感应式、红外线或激光扫描式)对工件或实物(样板、样件、模型等)进行测量,采集所需要的数据。对于仿形数控系统,还能对采集到的数据进行自动处理并生成数控加工程序,这为仿制与逆向设计制造工程提供了有效手段。

10. 自诊断功能

自诊断是数控系统在运转中的自我诊断。数控系统一旦发生故障,借助系统的自诊断功能,往往可以迅速、准确地查明原因并确定故障部位。自诊断功能是数控系统的一项重要功能,对数控机床的维修具有重要的作用。

三、数控铣床的加工工艺范围

数控铣削是机械加工中最常用的加工方法之一,它主要包括平面铣削和轮廓铣削,也可以对零件进行钻、扩、铰、镗和镗孔加工与攻螺纹等。数控铣削特别适用于加工平面类、变斜角类和曲面类(立体类)几类零件。

1. 平面类零件

平面类零件的加工面与定位面成固定的角度,且各个加工面是平面或可以展开为平面,

如各种盖板、凸轮以及飞机整体结构件中的框、肋等,如图 0-6 所示。加工部位包括平面、沟槽、外形、腔槽、台阶、倒角和倒圆等。这类零件一般只需用两坐标联动就可以加工出来。



图 0-6 平面类零件

2. 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件。图 0-7 所示是飞机上的一种变斜角梁,该零件在第②肋至第⑤肋的斜角从 $3^{\circ}10'$ 均匀变化成 $2^{\circ}32'$,从第⑤肋至第⑨肋再均匀变化为 $1^{\circ}20'$,从第⑨肋到第⑫肋又均匀变化至 0° 。变斜角类零件的变斜角加工面不能展开为平面,但在加工中,加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条直线。

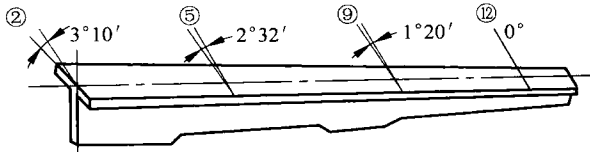


图 0-7 变斜角零件

3. 曲面类(立体类)零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件。曲面类零件的加工面不仅不能展开为平面,而且它的加工面与铣刀始终为点接触。加工曲面类零件一般采用三坐标数控铣床。常用的加工方法主要有两种。

(1) 采用三坐标数控铣床进行二轴半坐标控制加工。加工时只有两个坐标联动,另一个坐标按一定行距周期性进给。这种方法常用于不太复杂的空间曲面的加工,图 0-8 是对曲面进行二轴半坐标控制加工的示意图。

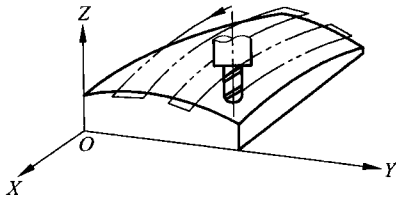


图 0-8 二轴半加工

(2) 采用三坐标数控铣床三坐标联动加工空间曲面。所用铣床必须能进行 X、Y、Z 三坐标联动加工和空间直线插补。这种方法常用于发动机及模具等复杂空间曲面的加工。加工曲面类零件的刀具一般使用球头刀具,因为其他刀具加工曲面时容易产生干涉而损伤邻近表面。

四、数控铣床的工作原理

(一) 数控铣床的工作过程

数控铣床的工作过程如图 0-9 所示。在数控铣床上加工零件时,要事先根据零件加

工图样的要求确定零件加工的工艺过程、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,然后通过 EDIT 方式或 DNC 方式将数控加工程序送到数控系统,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。

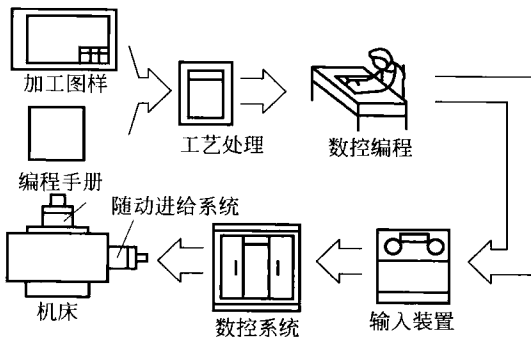


图 0-9 数控铣床的工作过程

数控系统除了计算机以外,其外围设备主要包括键盘、CRT 显示屏、操作面板、机床接口等。键盘主要用于输入操作命令及编辑、修改程序,也可以输入零件加工程序; CRT 显示屏供显示及监控用;操作面板可供操作员改变操作方式、输入数据、起停加工等;机床接口是计算机和机床之间联系的桥梁,包括伺服驱动接口及 DNC 输入输出接口。

系统程序储存于计算机内存中,所有的数控功能基本上都依靠该程序完成,例如输入、译码、数据处理、插补、伺服输出等。整个数控系统的活动均由系统程序来指挥。下面简单介绍一下数控系统的工作过程。

1. 输入

大量的零件加工程序一般通过 DNC 从上一级计算机输入而来。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加工程序输入计算机内部的存储器,加工时再从存储器一段一段地往外读出。

2. 译码

输入程序段含有零件的轮廓信息(起点、直线、圆弧等)、要求的加工速度以及其他的辅助信息(换刀、进给速度、冷却液等)。计算机依靠译码程序来识别这些指令符号,译码程序可将零件加工程序翻译成计算机内部能识别的语言。

3. 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。速度计算可解决该加工程序段以什么样的速度运动的问题,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、冷却液等也在这个程序中处理。

4. 插补

在机床的实际加工中,被加工工件的轮廓形状千差万别。严格地说,为了满足几何尺寸精度的要求,刀具中心轨迹应该准确地依照工件的轮廓形状生成。对于简单的曲线,数

控系统易于实现,但对于较复杂的形状,若直接生成刀具中心轨迹,势必会使计算方法变得很复杂,计算工作量也相应地大大增加。因此,在实际应用中,常常采用一小段直线或圆弧去逼近(或称为拟合)曲线,有些场合也可以采用抛物线、椭圆、双曲线和其他高次曲线去逼近曲线。所谓插补,是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密化。

5. 伺服控制

插补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计算出来。伺服控制程序的功能是完成本次插补周期的位置计算,并将结果发送到伺服驱动接口中去。

6. 管理程序

当一个曲线开始插补时,管理程序便着手准备下一个数据段的读入、译码、数据处理。即由它调用各个功能子程序,且保证在一个数据段加工过程中将下一个程序段准备完毕。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。

(二) 数控系统的插补原理

1. 插补的基本概念

大多数情况下,一个实际零件的轮廓外形主要是由直线、圆弧等简单几何元素组成的。一些复杂的曲线、曲面(包括一些用离散数据表示的列表曲线、曲面)经过适当处理后,也可用直线、圆弧去逼近、拟合,并达到规定的精度要求。

机床数字控制的核心问题是如何控制刀具或工作台的运动。在进行数控加工时,数控装置根据程序中关于加工对象的有限数据信息(例如零件上几何要素的起点、终点坐标,圆心坐标,圆弧半径,精度要求,顺时针、逆时针走向等),按一定的方法产生直线、圆弧等基本线形,用这些基本线形去逼近、拟合加工对象的轮廓轨迹。同时,通过系统内规定的运算,把拟合后的轮廓轨迹计算出来。并且,一边计算,一边根据计算结果向有关坐标轴方向分配脉冲等指令信号,伺服机构则将这些指令信号进行放大后驱动执行电动机,使刀具或工作台沿有关坐标轴运动,逐步加工出既定的轮廓形状来。

实际上,刀具相对于工件的运动轨迹不是光滑的直线或曲线,而是折线,是用折线运动轨迹逼近既定的加工轮廓。数控系统按一定的方法确定刀具运动轨迹的过程称为插补,完成这一运算的过程称为插补运算,实现这种插补运算的装置称为插补器。插补器有硬件插补功能和软件插补功能,现代数控系统中插补器主要靠软件插补。

2. 常用的插补方法

根据插补采用的原理、计算方法和输出信号的方式不同,可分为基准脉冲插补和数据采样插补两大类。

基准脉冲插补又称为脉冲增量插补,其插补算法的特点是数控装置将插补结果以脉冲信号的形式向每个运动坐标轴输出,每个脉冲使运动部件沿坐标轴产生一个最小位移(称为脉冲当量)。脉冲数量则表示移动量,脉冲序列的频率代表了坐标轴方向的运动速度。基准脉冲插补有逐点比较法、数字积分法等多种方法,适用于中等精度和中等速度

的 CNC 装置。

数据采样插补又称数字增量插补,适合于闭环、半闭环控制系统。这类插补算法的特点是,数控装置产生的不是单个脉冲,而是标准二进制数字信号。插补运算分粗插补和精插补两步完成。粗插补是将曲线轨迹分割为每一插补周期的进给段,称轮廓步长。也就是说,用若干微小直线段(长度 ΔL)逼近规定曲线轨迹; ΔL 、插补周期 T 、给定的进给速度 F 之间有关系 $\Delta L = FT$;粗插补每个插补周期运算一次,计算出下一个插补点(动点)的坐标,得到下一个插补点的指令位置,从而计算出下一个插补周期每个坐标轴的进给量。精插补则是在每个微小直线段的基础上,再进一步进行“数据点密化”。在闭环或半闭环系统中,能实现位置测量反馈。数控系统定时地对反馈回路采样,在位置反馈采样周期内,采集反馈位置增量值及插补输出的指令位置增量值,算出各坐标轴相应的插补指令位置 and 实际反馈位置,并将两者比较求得跟随误差;根据跟随误差求得各坐标轴的进给速度,输给驱动装置。各种系统的采样周期不尽相同,采样周期太短,计算机来不及处理,周期太长会损失信息而影响伺服精度和加工精度。插补周期可以和采样周期相同,也可以是采样周期的整数倍。数据采样插补常用的插补方法有直线函数法、扩展数字积分法等。

根据被插补的曲线形式,插补方法又可分为直线插补法、圆弧插补法、抛物线插补法、高次曲线插补法等。由于直线和圆弧是构成工件轮廓的基本线条,复杂的曲线、曲面经过适当处理后也可用直线、圆弧去逼近、拟合,所以大多数数控装置都具有直线插补和圆弧插补的功能,高档的数控系统还能以抛物线插补法、高次曲线插补法进行插补。不同的插补方法插补轨迹有所区别。图 0-10 和图 0-11 分别为逐点比较直线插补法和逐点比较圆弧插补法的插补轨迹图。

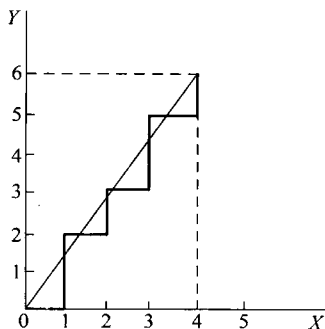


图 0-10 逐点比较直线插补法插补轨迹

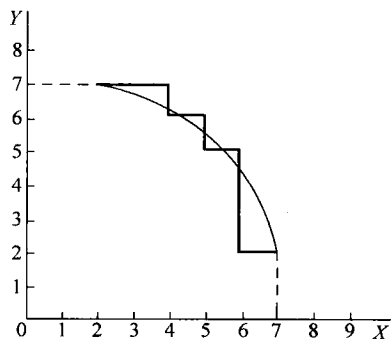


图 0-11 逐点比较圆弧插补法插补轨迹

五、数控铣床的坐标系与运动

(一) 铣削加工的切削运动

众所周知,所有去除多余材料的加工、工件表面的形成主要是由刀具切削刃形状和刀具相对于工件的运动两个要素决定的。例如,图 0-8 所示的外轮廓加工,就是利用立铣刀

在旋转过程中与固定于铣床工作台上的工件相对运动,实现去除多余部分,形成加工表面的。

在金属切削原理中,将刀具与工件的相对运动称为切削运动,而为了统一表示,规定所有的切削运动的速度及方向都是相对于工件定义的。同时,根据其在切削过程中所起的作用,切削运动分为主运动和进给运动。

1. 数控铣削的主运动

主运动使刀具切削刃及其毗邻的刀具表面切入工件材料,使被切削层转变成切屑,从而形成工件新表面,即产生切屑的运动。通常,主运动的速度较高,功率消耗较大。如图 0-12 所示,在铣削时刀具的回转运动为主运动。

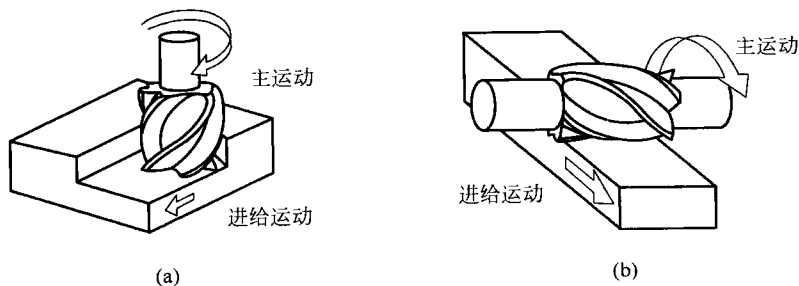


图 0-12 数控铣床的切削运动

(a) 立式铣床的切削运动; (b) 卧式铣床的切削运动

数控铣床中,主运动的实现是通过主轴伺服系统完成的。即可以通过数控程序中 S 指令(即主轴功能)对主轴电动机进行调速,改变主运动转速,实现在不同场合下对切削速度的控制。

2. 数控铣削的进给运动

1) 进给运动的概念

进给运动是配合主运动依次地或连续地切除工件,同时形成具有所需几何特性的已加工表面,即将新的切削层投入切削的运动。如图 0-12 所示,在铣削加工时,刀具相对于工件的移动为进给运动。这里要特别指出,进给运动是相对运动。因此,根据机床结构不同其完成进给运动的机构也不同,有的是由工作台运动实现的,有的则是由主轴箱的运动来实现的。

2) 机床坐标轴及联动的概念

在机床中,进给运动是由一个个相互独立的进给轴(或坐标轴)控制系统完成的。在数控机床中,进给运动往往是多方向的复合运动,这种复合运动需要各坐标轴具有联合运动功能,称为坐标联动。通常机床根据联动轴数多少可分为二坐标、三坐标、四坐标和五坐标机床。二坐标联动常出现在数控车床上,在此不进行介绍。数控铣床和加工中心通常是三轴或五轴机床。

(1) 三坐标联动。三坐标联动是指同时控制 X 轴向、Y 轴向、Z 轴向三个移动进给方向。这样,刀具能够在空间中任意方向移动,因而可以进行二维的轮廓加工和三维的立体加工,如图 0-13 所示。