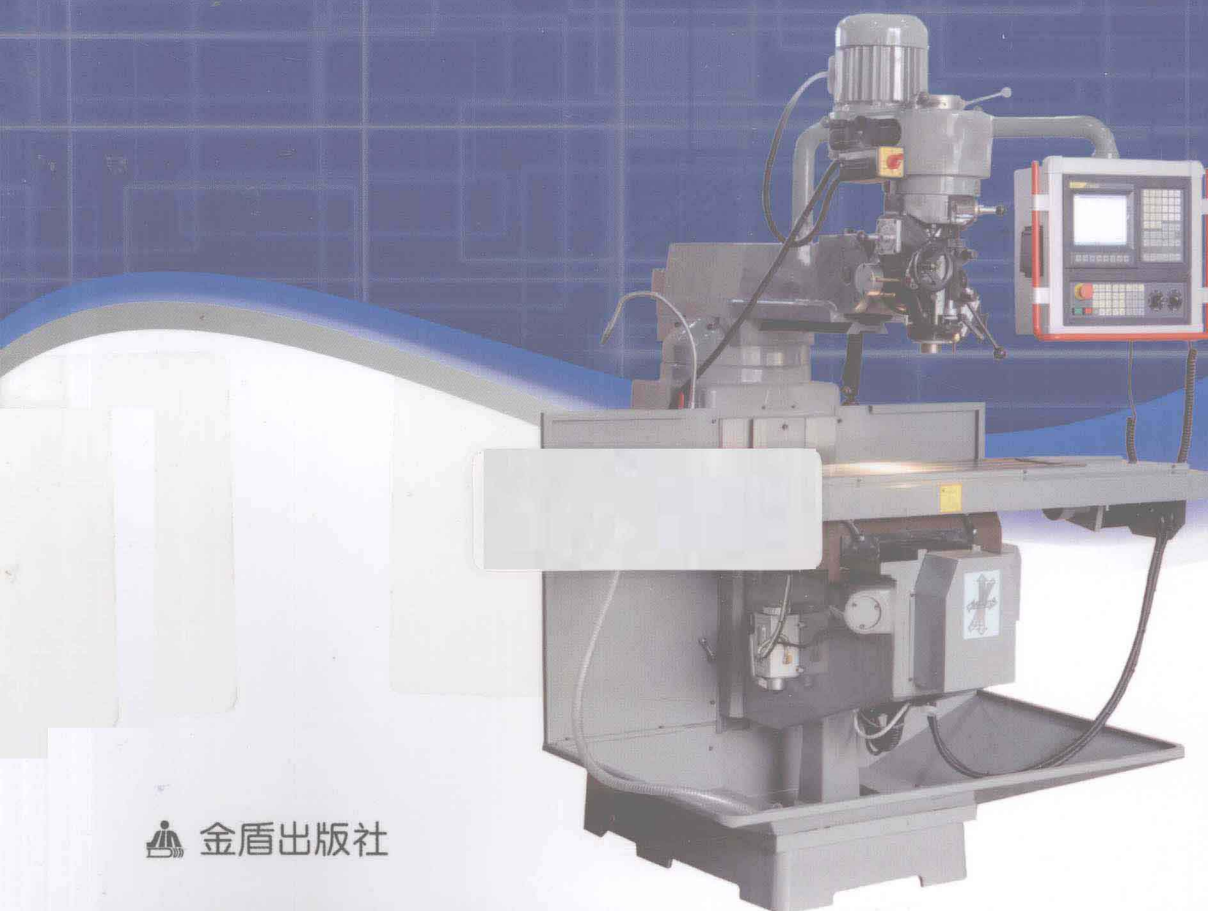


现代加工技术丛书

现代铣削 加工技术

韩开生 解伟坡◎主编



现代加工技术丛书

现代铣削加工技术

主 编

韩开生 解伟坡

副主编

梁 猛 张世林

金盾出版社

内 容 提 要

本书为《现代加工技术丛书》之一,主要内容有:传统铣削、数控机床和数控铣床简介,数控铣削加工工艺,FANUC 系统数控铣床编程,数控铣床数控系统操作,FANUC 系统数控车床加工实例,数控铣自动编程,数控铣床的维护和故障诊断,数控铣工操作技能和理论知识试题及模拟试卷等。

本书实例较多,有的章末附有配合学习的复习思考题。理论知识模拟试题和试卷均有参考答案,以便于培训、考核和读者自测自查。

本书可作为数控铣工职业技能考核鉴定的培训教材和自学用书,还可作为技工学校和职业学校的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代铣削加工技术/韩开生,解伟坡主编. -- 北京:金盾出版社,
2012. 5

ISBN 978-7-5082-7242-9

(现代加工技术丛书)

I. ①现… II. ①韩…②解… III. ①铣削—基本知识 IV. ①TG54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 202853 号

金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)

邮政编码:100036 电话:68214039 83219215

传真:68276683 网址:www.jdcbs.cn

封面印刷:北京精美彩色印刷有限公司

正文印刷:北京万友印刷有限公司

装订:北京万友印刷有限公司

各地新华书店经销

开本:705×1000 1/16 印张:21.75 字数:440 千字

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1~5 000 册 定价:49.00 元

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

数控技术是机械加工制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,是提高零件产品质量、提高加工生产效率必不可少的技术手段。中国在加入世贸组织后,正在逐步变成“世界制造中心”,并开始从劳动密集型向技术型转变。为了增强竞争能力,许多制造企业已开始广泛使用先进的数控技术,但目前我国数控机床操作工严重短缺(据统计缺 60 万人左右)。数控人才短缺已经引起了教育部、人力资源和社会保障部等政府部门的高度重视。

数控技术人才需求量的大小和人才需求的类型、层次、质量等取决于国民经济和制造业的发展程度、水平,也取决于用工单位自身的管理要求、发展趋势等。据统计,制造业较发达的德国、美国、日本等国家的数控机床占生产设备的 70% 以上,而我国制造业与国际先进工业国家相比存在着很大的差距。目前我国制造业数控机床拥有量不足总量的 4%,虽近几年来都以较快的速度在迅速增长,但很多还没能充分利用,原因之一就是数控人才的匮乏。

为加速培训数控加工技术人才,我们编写了《现代加工技术丛书》,包括《现代车削加工技术》、《现代铣削加工技术》、《现代特种加工技术》、《现代焊接加工技术》和《现代模具加工技术》。

本书主要参照国家职业标准中的数控铣工中级技能,本着由简单到复杂、由基础到专业、涉及面广的原则,主要介绍了数控铣床的相关基础和工艺知识,FANUC 数控系统和华中数控系统的编程与操作,具体介绍了刀具的材料、结构、选择以及数控机床的维护保养,并附有数控铣工理论练习题和操作技能练习图纸,以提高读者的数控铣削技能。

本书由石家庄市职业技术教育中心老师韩开生、解伟坡任主编,梁猛、张世林任副主编。

由于编者的经验和水平有限,书中如有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概述	1
第一节 金属切削的地位和种类	1
第二节 切削加工的特点和发展方向	1
第三节 传统铣削加工技术简介	2
第四节 数控机床简介及其特点	4
第五节 数控机床的分类	6
第六节 数控铣床的组成	11
第七节 数控铣床的工作原理	17
第八节 数控铣床的选用	21
第九节 数控铣削加工技术的发展	24
第十节 先进的制造技术简介	25
第二章 数控铣削加工工艺	28
第一节 数控铣床工件装夹和夹具选用	28
第二节 数控加工的主要内容	39
第三节 数控加工工艺基础	41
第四节 数控铣削加工工艺性分析	43
第五节 数控铣削加工工艺路线的设计	45
第六节 对刀点和切削用量的选择	49
第七节 数控铣削刀具的选择和应用	53
第八节 数控铣削编程相关数值计算	64
第九节 数控铣床加工工艺文件	67
第十节 切削液的选择	70
第三章 数控铣削编程	73
第一节 数控铣床坐标系	73
第二节 数控铣削编程	76
第三节 FANUC 数控铣系统 G 代码简介	83
第四节 FANUC 数控系统固定循环功能	93
第五节 FANUC 数控系统辅助功能	103
第六节 数控铣刀具补偿功能	104
第四章 数控铣床数控系统操作	107
第一节 FANUC 数控系统	107

第二节	FANUC 系统数控铣床面板	107
第三节	华中“世纪星”HNC—21M 数控铣床的操作	121
第四节	SIEMENS(西门子)数控铣系统简介	129
第五章	FANUC 系统数控铣床加工实例	134
第一节	编程加工举例	134
第二节	职业技能鉴定操作训练例题	150
第三节	FANUC 数控系统宏程序编程加工举例	177
第六章	数控铣自动编程	187
第一节	常用自动编程软件	187
第二节	CAXA 制造工程师 2006 自动编程软件	189
第三节	CAXA 制造工程师 2006 的 CAD,CAM 功能	190
第四节	CAXA 制造工程师 2006 自动编程实例	194
第五节	UG4.0 软件自动编程实例	207
第六节	程序文件的传输(FANUC 系统)	234
第七章	数控铣床故障诊断与维修	236
第一节	数控设备管理与维修概述	236
第二节	数控铣床常见故障及其分类	238
第三节	数控铣床故障分析的基本方法	240
第四节	数控系统的故障自诊断方法及应用	243
第五节	数控铣床维修步骤	245
第六节	数控铣床维修实例	248
第七节	数控系统维护与保养	253
第八节	BEIJING-FANUC 0i Mate-MB 报警表	255
第八章	数控铣工操作技能和理论知识试题与模拟试卷	287
第一节	数控铣工操作技能练习题	287
第二节	数控铣工操作技能模拟试题	295
第三节	数控铣工中级理论知识模拟试卷	309
附:国家职业标准数控铣工[(试行)2005,中、高级节选]		336

第一章 概 述

第一节 金属切削的地位和种类

金属切削加工是利用切削刀具从工件(毛坯)上切去多余的材料,使零件具有符合图样规定的几何形状、尺寸和表面粗糙度等方面要求的加工过程。

一、金属切削的地位

机械加工中的金属切削加工,在机械制造过程中所占比重最大,用途最广。目前,机械制造业中所用工作母机有 80%~90% 主要为金属切削加工机床;在各种制造业中,机械制造占据主导地位。可见机械制造业的切削加工,在国民经济发展中处于十分重要的地位。它是一个国家经济实力和科学技术发展水平的重要标志,因而世界各国均把发展机械制造业作为振兴和发展国民经济的战略重点之一。

二、切削加工的分类

切削加工可分为钳工和机械加工(简称机工)两部分。

1. 钳工

主要是在钳台上以手持工具为主,对工件进行加工。其主要工作内容有划线、用手锯锯削、用錾子錾削、用锉刀锉削、用刮刀刮削、用钻头钻孔、用扩孔钻扩孔、用铰刀铰孔,此外,还有攻螺纹、套螺纹、机械装配和设备修理等。

2. 机工

是在机床上利用机械力对工件进行加工。其主要方法有车、钻、镗、铣、刨、拉、插、磨、珩磨、超精加工和抛光等。

随着加工技术的现代化,越来越多的钳工加工工作已被机械加工所代替,同时,钳工自身也在逐渐机械化。但是,由于钳工加工非常经济,并且灵活、方便,所以在切削加工行业中仍占有一席之地,并且永远也不会被机械加工完全替代。

第二节 切削加工的特点和发展方向

一、金属切削加工的主要特点

1. 精度

切削加工获得零件的几何精度范围宽泛,可以适应不同层次的需要,这是其他加工方法难以达到的。加工精度范围一般为:

- ①尺寸精度:一般在 IT12~IT3;
- ②表面粗糙度:一般在 $Ra\ 25\sim0.08\mu\text{m}$ 以内;
- ③形状精度、位置精度:选择好工艺路线和工装,可以达到与尺寸精度相适应的形状和位置精度。

2. 材料

金属切削加工零件的材料、形状、尺寸和重量的适应范围很大,主要表现为:

- ①材料可以是金属材料,也可以是非金属材料;
- ②可以是形状较复杂的零件;
- ③零件的尺寸大小一般不受限制;
- ④质量的适用范围很广,可以重达数百吨,轻的只有几克,如微型仪表零件等。

3. 生产率

切削加工的生产率较高,一般高于其他加工方法。

4. 刀具

要求刀具材料的硬度高于工件材料的硬度。

5. 工艺过程

切削加工的工艺过程较为严密,工艺过程制订得正确与否直接影响零件的加工质量。

鉴于上述特点,切削加工难以完成某些复杂零件细微结构的加工,特别是难以完成一些高硬度和高强度等特殊材料制成的零件的加工,这给特种加工带来了生存和发展的空间。

二、金属切削加工的发展方向

①切削加工设备正朝着高精度、高速度、自动化、柔性化和智能化方向发展。加工中心、自适应控制系统、直接数字控制系统(即计算机群控系统)、柔性制造系统等的出现,以及误差自动化补偿的问世,已揭开了金属切削加工发展的前幕,在精度上向原子级加工逼近。

②刀具材料朝着超硬方向发展,陶瓷、聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼等超硬材料将被普遍应用于切削加工,使切削速度迅速提高到每分钟数千米。

③生产规模由目前的小批量和单品种大批量向多品种变批量方向发展。

④切削加工将被融合到计算机辅助设计与计算机辅助制造、计算机集成制造系统等高新技术和理论中,实现设计、制造和检验与生产管理等全部生产过程自动化。

第三节 传统铣削加工技术简介

零件的制造加工,往往需要由很多不同的工种配合起来协作加工才能完成。这些不同工种之间有着相互密切的关系,因此在金属切削加工企业中,一般有车工、铣

工、刨工、磨工、钳工等工种,铣工就是这些工种中的一种。如果对一台机器的零件进行分析就会发现,组成零件的要素中,除了有很多是回转要素,如:轴、孔、沟槽、螺纹等以外,还有许多非规则要素,例如:平面、平面沟槽、T形槽、V形槽等,如图 1-1 所示的铣削加工内容。

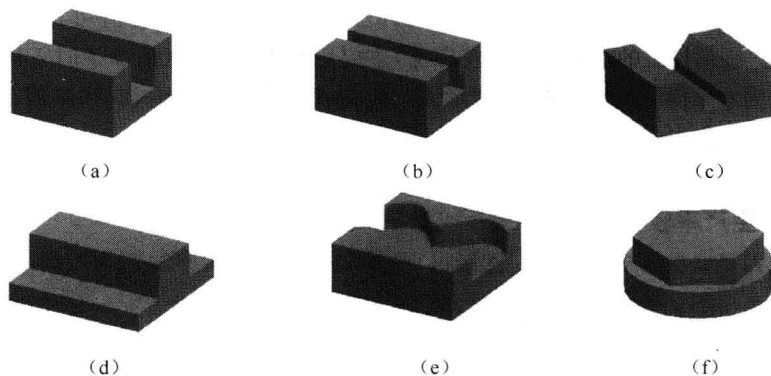


图 1-1 铣削加工内容

(a)平面沟槽 (b)T形槽 (c)V形槽 (d)阶梯工件 (e)曲面槽 (f)多边形

这些工件轮廓一般都要由铣床经过铣削来完成,如图 1-2 所示的普通铣床。

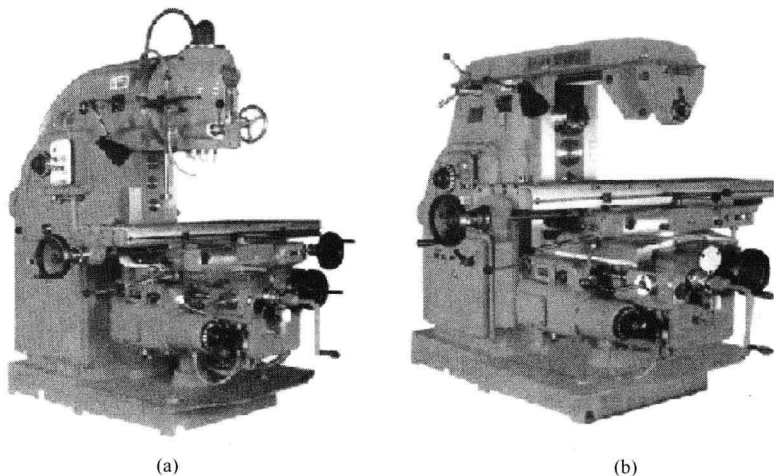


图 1-2 普通铣床

(a)X5040 立式铣床 (b)X6032 卧式铣床

铣削加工是在铣床上利用铣刀对工件进行切削。铣刀通过刀刃的切割和刀面的推挤,把工件表面层的金属材料变成为切屑的过程称为铣削过程。铣床是机械制造业的重要设备。铣床生产效率高,加工范围广,是一种应用广、类型多的金属切削

机床。

铣床的种类有很多,常用的铣床有卧式铣床、立式铣床、工具铣床和龙门铣床。此外,使用较广泛的还有适于加工各种具有复杂型面工件的仿形铣床,以及自动化程度较高、用于加工形状复杂和精度要求较高工件的数控铣床。

铣削加工的精度一般可以达到 IT6~IT10,表面粗糙度值可达 $Ra\ 6.3\sim 1.6\mu\text{m}$ 。铣削加工的加工范围比较广泛,主要用来加工平面(按加工时工件所处的位置分为水平面、垂直面、斜面、成形面)、齿轮、螺旋槽、台阶面、沟槽(键槽、燕尾槽、T形槽)等,也可进行钻孔、铰孔、镗孔等。

铣削加工的工艺特点有:

1. 生产率较高

铣刀是典型的多齿刀具。铣削过程中,多个刀齿依次参加切削工作,因此可以进行高速切削。铣削时的主运动是铣刀的回转运动。

2. 铣削时容易产生冲击、振动

铣刀刀齿在切入、切出工件时会产生冲击,每个刀齿的切削厚度随刀齿的运动而发生变化,切削力也随之变化,使切削过程不平稳,容易产生振动,从而影响加工质量;同时也限制了加工质量和生产率的进一步提高。

3. 刀齿散热条件较好

铣刀刀齿在切离工件的一段时间内,可以得到一定程度的冷却,有利于刀齿的散热。但是,刀齿在切入、切离工件时,不但受到冲击力,还受到热冲击,这将加速刀具的磨损,甚至使硬质合金刀具碎裂。

4. 铣削可分为粗铣、半精铣、精铣

第四节 数控机床简介及其特点

一、数控机床

数控机床是安装了数字控制系统的机床,它集中了万能型机床通用性好、精密型机床加工精度高和专用机床加工效率高的特点,使用范围广泛。数控机床也称为 CNC(Computer Numerical Control)机床,即采用计算机数字控制系统的机床。

20 世纪 40 年代末,美国开始研究数控机床。1952 年,美国麻省理工学院伺服机构实验室成功研制出第一台数控铣床,并于 1957 年投入使用,在复杂曲面零件加工中发挥了很大作用。这是机械加工技术发展过程中的一个重大突破,标志着制造领域中数控加工时代的开始。数控加工是现代制造技术的基础,这一新兴技术对于制造行业而言,具有划时代的意义和深远的影响,世界上主要工业发达国家都十分

重视数控加工技术的研究和发展。我国于 1958 年开始研制数控机床,成功试制出配有电子管数控系统的数控机床;1965 年开始批量生产配有晶体管数控系统的三坐标数控铣床。经过几十年的发展,目前的数控机床已实现了计算机控制并在机械加工工业得到广泛应用并取得了长足的发展,在模具加工行业的应用尤为普及和重要。但是,国产数控机床特别是中高档数控机床缺乏市场竞争力,其主要原因是国产数控机床的研究开发深度不够、制造水平依然落后、服务意识与能力欠缺、数控系统生产应用推广不力及数控人才缺乏等。我们应充分认识到国产数控机床的不足,努力发展先进的数控加工技术,加大技术创新与培训服务力度,以缩短与发达国家间的差距。

二、数控机床特点

1)与传统机床相比,数控机床具有加工精度高、工件质量稳定可靠的特点。

数控机床是精密机械和自动化技术的高度结合。数控机床的数控装置可以对机床运动中产生的位移、热变形、丝杠间隙等导致的误差,通过测量系统进行补偿而获得很高而且稳定的加工精度。数控机床的加工精度一般可达到 $0.005\sim 0.1\text{mm}$ 。数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一个脉冲信号,则机床移动部件移动一个脉冲当量(一般为 0.001mm),而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿;因此,数控机床定位精度比较高。

2)数控机床和普通机床相比具有传动链短、传动误差小、精度高的特点。

数控机床主轴箱结构简单、刚度大,与控制系统的高精度控制相匹配,适合高精度零件的加工。

3)由于数控机床实现的是自动加工,所以减少了因机床操作人员素质不同带来的人为误差,提高了同一批零件的一致性。

4)数控机床多采用电子油泵润滑和油雾自动润滑,并有缺油报警装置,润滑充分、可靠。

5)生产效率高。数控机床可以有效地减少零件的加工时间和辅助时间。数控机床的主轴转速和进给量的调整范围大,允许机床进行大切削量的强力切削;数控机床目前正进入高速加工时代,数控机床移动部件的快速移动、定位及高速切削加工,减少了半成品的工序间周转时间,提高了生产效率。

相对普通机床,数控机床的加工效率一般能提高 $2\sim 3$ 倍,甚至十几倍,主要体现在以下几个方面:

①一次装夹能完成多道工序加工,省去了普通机床加工的多次更换工种,工序间的转件以及划线、装夹等工序。

②简化了机床夹具及专用工装等。由于是一次装夹完成加工,所以相对于普通机床多工序的夹具减少了,但有时也用到专用夹具。由于数控机床的超强功能,因此夹具的结构也可得到简化。

6)减轻了操作人员的劳动强度,改善了劳动条件。高度智能化的数控系统使数

控机床的操作由体力型转为智能型。部分数控机床采用全封闭防护罩,液压台虎钳、气动夹具等,可以有效保持工作环境的清洁和减轻操作者的劳动强度。

7)有利于生产管理现代化。主要体现在以下几个方面:

- ①程序化控制加工,更换加工零件品种方便、灵活;
- ②一机多工序加工,简化了生产过程的管理,减少了管理人员;
- ③可以实现无人化生产和联机生产;

8)具有高度柔性。在数控机床上加工零件,主要取决于加工程序,它与普通机床加工不同,不必制造、更换许多工具、夹具、刀具,不需要经常调整机床。因此,数控机床适用于加工零件频繁更换的场合,也就是适合单件、小批生产及新产品的开发,从而缩短了生产准备周期,节省了大量工艺设备的费用。

9)数控机床具有加工过程冷却充分、防护较严密等特点,自动加工时一般都处于全封闭或半封闭状态,还有自动排屑装置。

10)数控机床初期投资较高,数控系统维护困难,对操作人员和维修人员有较高的技术要求,对刀具、夹具也有较高的要求。

三、数控技术发展的几个主要阶段

数控技术发展的几十年间,主要经过了六个主要阶段:电子管数控系统(1952年),晶体管和印刷电路板数控系统(1959年),小规模集成电路数控系统(1965年),简称 NC(Numerical Control)、目前已被淘汰小型计算机数控系统(1970年),微处理器数控系统(1974年),基于工业 PC 的通用 CNC 系统(1990年)。最后这种数控系统又称为软线数控,即计算机数控系统,简称 CNC。数控技术的发展阶段见表 1-1。

表 1-1 数控技术发展的六个主要阶段

数控系统发展的历史	出现年代	数控系统发展的历史	出现年代
第一代电子管数控系统	1952	第四代小型计算机数控系统	1970
第二代晶体管数控系统	1959	第五代微处理器数控系统	1974
第三代集成电路数控系统	1965	第六代基于工业 PC 的通用 CNC 系统	1990

第五节 数控机床的分类

一、按加工方式分类

1. 切削加工类(金属切削数控机床)

金属切削数控机床指通过从工件上除去一部分材料而得到所需零件的数控机床。这是一类应用最广泛的数控机床,常见的有数控铣床、加工中心、数控车床与车削中心、数控钻床与钻削中心、数控磨床、数控齿轮加工机床等。

2. 成型加工类(无屑加工数控机床)

无屑加工数控机床指通过物理的方法改变工件形状才能得到所需零件的数控机床。如数控折弯机、数控弯管机、数控冲压成型机床等。

3. 特种加工类(特种加工数控机床)

特种加工数控机床指利用特种加工技术得到所需零件的数控机床。如数控线切割、数控电火花、数控激光加工等。

4. 其他类型

一些广义上的数控设备。如数控测量仪、数控装配机、机器人等。

二、按控制系统特点分类

1. 点位控制数控机床(Point to Point Control)

这类数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。其特点是,只要求控制刀具相对于工件在机床加工平面内从某一加工点运动到另一加工点的精确坐标位置,而对两点之间的运动轨迹原则上不加以控制,且在运动过程中不作任何加工,如图 1-3 所示。定位原则为先快后慢。

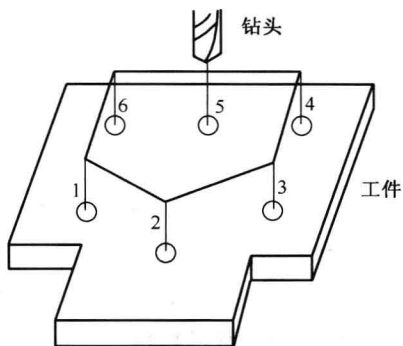


图 1-3 点位控制数控机床的孔加工

2. 点位直线控制数控机床

简称为直线控制数控机床。这类机床主要有数控车床和数控铣床等。这类数控机床不仅可以控制刀具或工作台由一个位置点到另一个位置点的精确坐标位置,还可以控制它们以给定的进给速度沿着平行于某一坐标轴方向作直线或斜线运动并在移动的过程中进行加工,如图 1-4 所示。

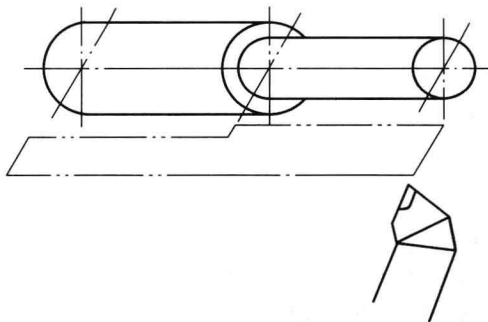


图 1-4 点位直线控制切削加工

3. 轮廓控制数控机床(Contour Control)

这类机床有数控车床、数控铣床、数控磨床和加工中心等,也称连续控制数控机

床。现代的数控机床基本上装备的是这种数控系统。其特点是,不仅要求刀具相对于工件在机床加工空间内从一点运动到另一点的坐标位置精确定位,而且要求对两点之间的运动轨迹及轨迹上每一点的运动速度进行精确控制,且能够边移动边加工,用于加工二维平面轮廓或三维空间轮廓。由于数控系统带有插补器,所以能精确实现各种曲线或曲面加工,如图 1-5 所示。

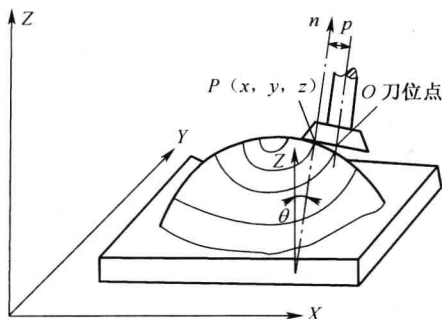


图 1-5 五坐标轴联动加工球面

三、按轮廓控制数控机床中同时控制轴数(联动轴的数目)分类

按联动轴的数目,这类机床还可以细分为:

1. 两轴联动数控机床

数控车床、铣削平面曲线轮廓的数控铣床等。

2. 三轴控制,任意两轴同时控制(又称为两轴半控制)

3. 三轴联动数控机床

数控铣床、加工中心等。

4. 四轴联动数控机床

用于加工空间曲面的数控铣床、加工中心等。相对于 3 轴联动机床可以提高加工效率和加工质量。

5. 五轴联动数控机床

用于高效、高精加工空间曲面的数控铣床、加工中心等,是功能最全、控制最复杂的一类数控机床。例如:用端铣刀替代球刀加工空间曲面轮廓时,要求刀具轴线与工件轮廓法线平行或成某一角度。如图 1-5 所示为五坐标轴联动加工。

四、按位置控制方式分类

数控机床按照对被控量有无检测反馈装置可分为开环控制数控机床和闭环控制数控机床。在闭环数控机床中,根据位置检测装置安装的位置又可以分为全闭环和半闭环两种。

1. 开环控制系统数控机床

采用开环控制系统,是数控机床中最简单的伺服系统,执行元件一般为步进电

动机,其控制原理如图 1-6 所示。

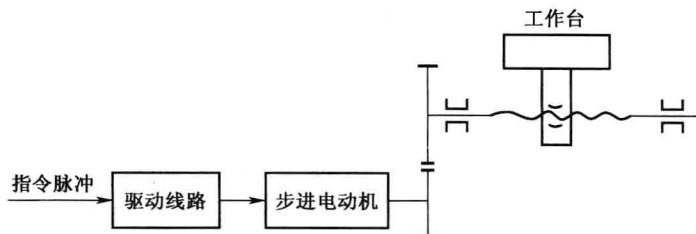


图 1-6 开环控制系统

机床部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。

开环进给伺服系统没有位置反馈装置,位置控制的精度由步进电动机和进给丝杠等来决定。由于影响定位精度的机械传动装置的磨损、惯性及间隙的存在,故开环系统的精度和快速性能较差,振动、噪声较大;在过载情况下,步进电动机会产生失(丢)步现象,严重影响加工精度。但其结构简单,易于调整,造价低廉,在精度要求不太高的场合中得到较广泛的应用。一般适用于经济型数控机床和旧机床数控化改造。

2. 闭环控制系统数控机床

因为开环系统的精度不能很好地满足数控机床的要求,所以为了保证加工精度,最根本的办法是采用闭环控制方式。闭环控制系统是采用直线型位置检测装置(直线感应同步器、磁尺、长光栅尺或激光干涉仪等),对数控机床工作台位移进行直接测量并进行反馈控制的位置伺服系统,其控制原理见图 1-7 所示。

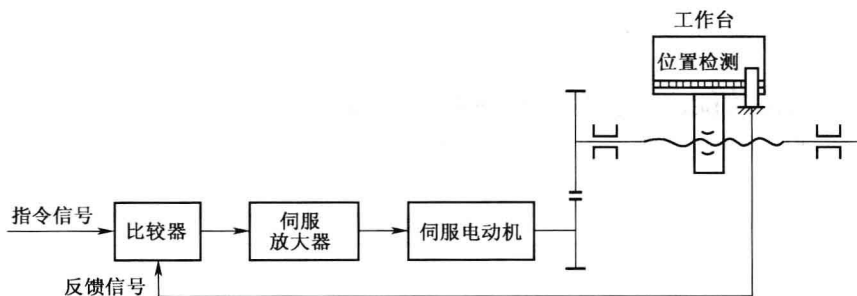


图 1-7 闭环控制系统

闭环控制数控机床有位置和速度检测装置,并且直线位移检测装置直接装在机床移动部件如工作台上,将测量的结果直接反馈到数控装置中,与输入指令进行比较控制,使移动部件按照指令要求运动,最终实现精确定位。因为把机床工作台纳入了位置控制环,故称为闭环控制系统。

闭环控制数控机床其伺服系统由交流(或直流)伺服驱动和交流(或直流)伺服

电动机组成。与伺服电动机同轴刚性连接的测速器件,随时检测电动机转速反馈至数控系统,与速度指令信号进行比较,控制电动机的转速。该系统定位精度高、调节速度快;但该系统调试困难,系统复杂并且成本高,故适用于精度要求很高的数控机床,如精密数控镗铣床、精密数控车床等。

3. 半闭环控制系统数控机床

采用半闭环控制系统,使用旋转型角度测量元件(脉冲编码器、旋转变压器或圆感应同步器等)和伺服电动机按照反馈控制原理构成的位置伺服系统,其控制原理如图 1-8 所示。其角位移检测装置装在交流(或直流)伺服电动机的输出轴上,通过检测角位移间接地检测移动部件的位移,并反馈到数控系统中。半闭环控制系统的检测装置有两种安装方式:一种是把角位移检测装置安装在丝杠末端;另一种是把角位移检测装置安装在电动机轴端。

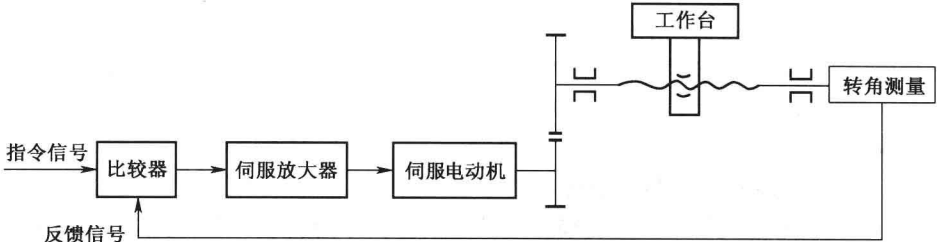


图 1-8 半闭环控制系统

在半闭环控制系统中,由于系统闭环环路内不包括机械传动环节,可获得稳定的控制特性;另外,机械传动环节的误差可用误差补偿的方法消除,因此可获得满意的精度。半闭环控制数控机床精度较高,安装调试方便,广泛应用于各种数控机床中。

五、按功能水平分类(注:无确切定义)

数控机床按功能水平可分为低档、中档、高档,或经济型、功能型、高档型数控机床。各档次数控机床功能水平对比详见表 1-2。

表 1-2 各档次数控机床功能水平对比

功能	低档	中档	高档
分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/ m/min	8~15	15~24	15~100
驱动进给类型	开环	半闭环或闭环的直流或交流伺服系统	
联动轴数(轴)	2~3	2~4	3~5 以上
通信功能	一般没有	RS-232 或 DNC 接口	可有 MAP 通信接口,有联网能力
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示	有三维图形显示
内装 PLC	无	有	有功能强的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位以上或 32 位以上的多 CPU	

注:较齐全的 CRT 显示是指具有字符、图形、人机对话、自诊断和帮助等功能显示。

1. 经济(低档)型数控机床

又称简易数控机床,主要采用功能较弱、价格低廉的经济型数控装置,多为开环控制,其机械结构与传统机床机械结构差异不大,刚度与精度均较低。由于这类机床经济性好,因此在我国中小企业中应用广泛。目前国产数控机床多为经济型数控机床,有些企业还用经济型数控装置对传统机床进行数控化改造,改装成经济型数控机床。经济型数控机床的脉冲当量一般在 $0.001\sim 0.01\text{mm}$ 范围内。

2. 功能型数控机床

又称普及型数控机床,采用功能完善、价格较高的数控装置,采用闭环或半闭环控制,直流或交流伺服电动机,在机械结构设计上充分考虑了强度、刚度、抗振性、低速运动平稳性、精度、热稳定性和操作宜人等方面的要求,能实现高速、强力切削。功能型数控机床的脉冲当量一般在 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 范围内。

3. 高档型数控机床

高档型数控机床指三轴以上联动控制,能加工复杂形状零件的数控机床;或者工序高度集中,具备高度柔性的数控机床;或者可进行超高速、精密、超精密甚至纳米加工的数控机床。这类机床性能好、价格高,一般仅用在特别需要的场合。高档型数控机床的脉冲当量一般为 $0.1\mu\text{m}$ 甚至更小。

六、按数控装置分类

1. 硬件数控机床(NC)

控制功能全由硬件实现,通用性差,已基本淘汰。

2. 软件数控机床(CNC)

以硬件为平台,用软件程序实现控制,通用性强,目前广泛采用。

第六节 数控铣床的组成

数控铣床的基本结构如图 1-9 所示。数控铣床一般由铣床主体、程序载体、输入输出装置、数控装置、伺服系统、位置反馈系统、辅助装置等部分组成。下面分别进行介绍。

一、铣床主体

铣床主体是数控机床的机械部件,包括床身、主轴箱、工作台(包括 X, Y, Z 方向滑板)、进给机构等。

1. 床身

除了基本保持普通铣床传统布局形式的部分经济性数控铣床外,目前大部分数控铣床均已通过专门设计并定型生产。

2. 主轴箱

相比较普通铣床而言数控铣床的主轴具有回转精度高、抗震性好、同步运行准