

机械零（部）件 数控铣削加工

忻峰 主编



浙江工商大学出版社



浙江省德清县职业中等专业学校

Zhejiang Deqing Secondary Vocational School

国家中职示范校建设课改教材



机械零（部）件 数控铣削加工

*JIXIE LING(BU)JIAN SHUKONG
XIANXIAO JIAGONG*

忻峰 主编

徐中辉 陈鸿叔 沈洋 副主编



浙江工商大学出版社
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

机械零(部)件数控铣削加工 / 忻峰主编. —杭州:
浙江工商大学出版社, 2014. 6
ISBN 978-7-5178-0555-7

I. ①机… II. ①忻… III. ①机械元件—数控机床—
铣削—高等学校—教材 IV. ①TH13②TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 141491 号

机械零(部)件数控铣削加工

忻 峰 主 编 徐中辉 陈鸿叔 沈 洋 副主编

策划编辑 谭娟娟

责任编辑 杜功元 周敏燕

封面设计 王好驰

责任印制 包建辉

出版发行 浙江工商大学出版社

(杭州市教工路 198 号 邮政编码 310012)

(E-mail: zjgsupress@163.com)

(网址: <http://www.zjgsupress.com>)

电话: 0571-88904980, 88831806(传真)

排 版 杭州朝曦图文设计有限公司

印 刷 绍兴虎彩激光材料科技有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 8.5

字 数 200 千

版 印 次 2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5178-0555-7

定 价 22.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江工商大学出版社营销部邮购电话 0571-88904970

德清职业中专校本教材编写委员会

顾 问 杨丽英

主 任 茅水虎 姚明聪

编 委 周武杰 施晓艳 王美丽 沈海荣

吕梦非 沈亥琴 钱 昕 白 杨

杨月明 高阳会

《机械零(部)件数控铣削加工》编委会

顾 问 杨月明

主 编 忻 峰

副主编 徐中辉 陈鸿叔 沈 洋

编 委 沈 敏 楼晓东 陈长聆

崔明敏 施国扣 马纪孝

内 容 简 介

《机械零(部)件数控铣削加工》的主要内容理论和实际操作两部分组成。理论部分包括:数控机床的基本知识、数控铣床操作指南、数控铣床加工程序编制基础。实际操作部分包括:铣削外轮廓、内腔的加工、综合型零件的加工、孔加工固定循环、曲面的加工。本教材主要适用于我校数控技术应用专业的理论和实训教学。在专业知识安排上,本教材以国家职业、专业教学大纲为依据,涉及工件内容主要以中级工考试工件为主。

本教材实际操作部分以任务驱动为主线,将任务目标、零件图及工量具清单、工艺方案、评分表、注意事项、相关知识贯穿在每一个任务教学过程之中,使新技术、新工艺、新方法得到了综合的体现。本教材具有形象化、动态化、立体化、多元化等特点,符合学生认知规律。

编 者

二〇一四年三月

总 序

国家中等职业学校改革发展示范校建设的价值追求,在于中职教育的质量提升和内涵发展,而课程建设是重要的途径之一。德清职业中等专业学校围绕专业建设和育人模式的创新,十分重视各专业的课程建设,已经先后完成各类校本教材的开发。

课程,是人才培养的重要载体,我们关注课程的育人价值。在铸剑文化的引领下,基于多年办学实践的积淀,学校编撰了弘扬“铸剑精神”的特色文化读本。《晨韵——中职生早读读本》《心灵成长之旅——中职生心理辅导》《钢笔书法特色训练——方法·实战篇》等,就是通过学生“晨诵、午读、暮省”的过程,通过健康积极的职业心理培育,通过“练字练人”,来实现内化于心、外化于形的育人价值。

课程,是专业建设的重要内容,我们重视课程的学科价值。《数控车削加工实训指导书》《数控车床维修及检测实训指导书》《电子技术实训》《外套设计·制版·工艺》《星级酒店菜肴制作》等,都是相关专业学生实训校本教材,既体现本专业的学科理论知识的实践应用,又体现教学过程与生产过程的有效对接,更是对专业建设的有效促进。

课程,是人才特色的重要保证,我们强化课程的社会价值。《德清地方名菜名点》《德清农家乐菜肴制作》等,正是学校专业建设与地方产业发展的有效对接,是当地经济社会人才有效供给的价值体现。

中职学校的课程体系建设,围绕三大价值追求,需要我们不断努力进取、不断创新建构,已经拥有的课程建设成果,必将成为我们未来发展的重要基础。为此,我们更加期待!

是为序。

湖州市教育局副局长 金毅伟

二〇一四年五月十五日

目 录

第一篇 理论部分

第 1 章 数控机床的基本知识	3
第 2 章 数控铣床操作指南	13
第 3 章 数控机床加工程序编制基础	20

第二篇 实际操作部分

项目一 C 字八边形凸台	43
项目二 太极凸台	48
项目三 十字凸模	53
项目四 十字凹模	58
项目五 薄壁型腔板	63
项目六 双模加工	67
项目七 槽轮板	72
项目八 特殊板	77
项目九 多重轮廓板	82
项目十 圆弧连接板加工	87
项目十一 孔加工固定循环	93
项目十二 宏倒圆角——爱心	99
项目十三 CAD/CAM 自动加工	105

第一篇

理论部分

第1章 数控机床的基本知识

1.1 数控机床的发展

随着科学技术的飞速发展,机械产品日趋复杂,社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。在航空航天、造船、军工和计算机等工业中,零件的精度高、形状复杂、批量小、经常改动、加工困难、生产效率低、劳动强度大,质量难以保证。机械加工工艺过程的自动化和智能化是适应上述发展特点的最重要手段。为解决上述问题,一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床应运而生。

1.1.1 数控机床发展简史

数控机床就是将加工过程所需的各种操作(如主轴变速,松夹工件,进刀和退刀,开车与停车,自动开停冷却液等)和步骤以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示,通过介质(如穿孔纸带或磁盘等)将数字信息送入数控装置,数控装置对输入的信息进行处理与运算,发出各种控制信号,控制机床的伺服系统或其他驱动元件,使机床自动加工出所需的工件。数控机床的诞生和发展,有效地解决了一系列生产上的矛盾,为单件、小批量精密复杂零件的加工提供了自动化加工手段。

1952年3月,美国帕森斯公司和麻省理工学院合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,可作直线插补,用于火箭零件的制造。在此之后,其他一些国家,如德国、英国和日本都相继开发、生产及使用数控机床。

1960年以后,点位控制的数控机床得到了迅速发展。点位控制的数控系统比轮廓控制的数控系统简单得多。因此,数控钻床、数控冲床、数控镗床得到了发展。

1959年,美国 Keaney & Treckre 公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工,如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削等加工。至此,数控机床的新一代类型——加工中心(Machine Center)诞生了,并成为当今数控机床发展的主流。

1974年,微处理器直接应用于数控机床,进一步促进了数控机床的普及应用和发展。

20世纪80年代初,出现了以1台(或2~3台)加工中心或车削中心为主体,配上工件自动装卸和监控检验装置的所谓柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)。FMC可以集成到柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)或更高级的集成制造系统中使用。当前,FMS正从切削加工向板材冷加工、焊接、装配等领域扩展。FMC和FMS是实现计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)的基础。

现代数控系统是采用微处理器或专用微机的数控系统,由事先存放在存储器里的系统

程序(软件)来实现控制逻辑,实现部分或全部数控功能,并通过接口与外围设备进行联结,称为计算机控制(Computer Numerical Control, CNC)系统,这样的机床一般称为 CNC 机床。

总之,数控机床是数字控制技术与机床相结合的产物,从狭义的方面看,数控一词就是“数控机床”的代名词;从广义的范围来看,数控技术本身在其他行业中有更广泛的应用,称为广义数字控制。数控机床就是将加工过程的各种机床动作,用数字化的代码表示,通过某种载体将信息输入数控系统,控制计算机对输入的数据进行处理,来控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床加工出所需要的工件,其过程如图 1-1-1 所示。

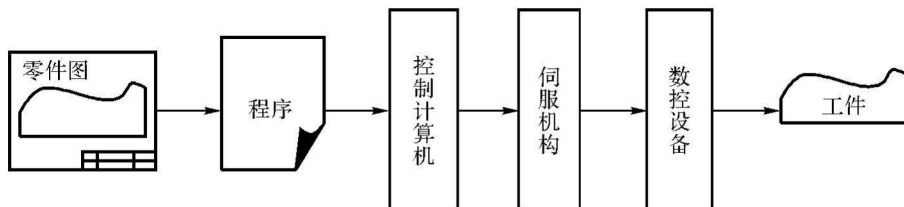


图 1-1-1 数控加工流程

1.1.2 数控机床的发展趋势

目前,世界各工业发达国家都把机械加工设备的数控化率作为衡量一个国家工业化水平的重要标志,竞相发展数控技术。许多国家通过制定特殊的产业政策,从产业组织结构、设备折旧制度、技术攻关和人才培养等方面引导数控技术的发展。近年来,数控机床的发展特点表现在以下几个方面。

(1) 数控系统的硬件走向通用化、模块化和标准化

美国近年来正在开发的 NGC(Next Generation Controllers,下一代控制器)数控系统是个开放式系统,其基本模块做成通用的、标准的、系列化的产品。数控系统的开发人员可在 NGC 标准规范指导下,采用不同厂家的软、硬件模块,组成不同档次的数控系统,以适应各类机床的 CNC 系统。

(2) 利用计算机的软件资源提高数控系统的性能

随着微型计算机的广泛应用,大量的应用软件极大地丰富了以通用微机为基础的系统控制功能,一些新技术(如多媒体技术、容错技术、模糊控制技术、人工智能技术等)逐渐被新一代数控系统采用,主要有:

- ① 人工智能图形会话编程,可进行特征造型和工艺数据库基础上的自动编程;
- ② 引入故障诊断专家系统,实现完善的自诊断和故障监控功能;
- ③ 完善的误差补偿功能,包括空间几何误差补偿、零点误差补偿、夹具位置误差补偿;
- ④ 刀具寿命管理及刀具破损综合检测功能等。

(3) 新一代伺服驱动装置上大量采用新技术

- ① 智能化交流伺服驱动装置。
- ② 无刷直流伺服电机及驱动系统。

③ 双励磁绕组同步电机及其控制装置,这种电机的矢量控制调速系统比交流电机的调速系统简单得多,其动、静态特性也优于交流调速系统。

1.2 数控机床的构成

现代计算机数控机床由程序、输入输出装置、计算机数控装置、可编程控制器、主轴控制单元及速度控制单元等部分组成,如图 1-1-2。

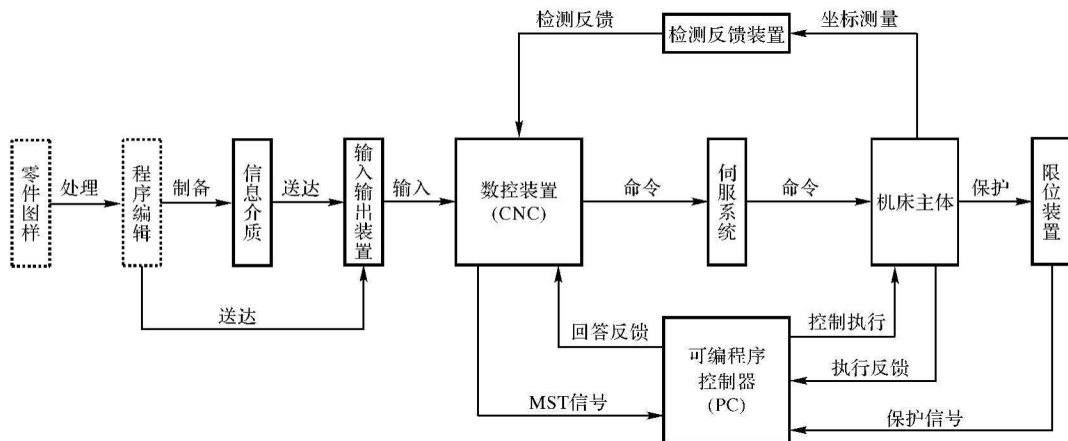


图 1-1-2 数控机床的组成

在数控机床上加工零件时,首先根据零件图纸上的零件形状、尺寸和技术要求,确定加工工艺,然后编制出加工程序。程序必须存储在某种介质上,如纸带、磁带或磁盘等。

1.2.1 输入输出装置

存储介质上记载的加工信息需要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以通过输出装置传送到存储介质上。输入、输出装置是机床与外部设备的接口,目前输入输出装置主要有纸带阅读机、软盘驱动器、RS232C 串行通信口、MDI 方式等。

1.2.2 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它接受输入输出装置送到的数字化信息,经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,将各种指令输出给伺服系统,使设备按规定的动作执行。

数控装置一般有专用数控装置和通用数控装置两种类型。

专用数控装置:专用数控装置简称 NC 数控装置,它是根据零件加工功能的要求,采用专用硬接线逻辑电路的方法构成的控制装置。

通用数控装置:通用数控装置简称 CNC 数控装置,它是由一台小型或微型计算机作为控制硬件,再配以适当的接口电路构成的数控装置。将预先设计调试好的控制软件存入计算机内,以实现数控机床的控制逻辑和各种控制功能,只要改变控制软件就可改变控制功能。因此这种数控装置的灵活性和通用性很强,现代数控系统大都采用这种数控装置。

1.2.3 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动电机、伺服驱动元件和执行机构等,它是数控系统的执行部分。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。每一个脉冲信号使机

床移动部件的位移量叫作脉冲当量(也叫最小设定单位)。常用的脉冲当量为 0.001mm/脉冲。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统,整个机床的性能主要取决于伺服系统。常用伺服驱动元件有步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机、电液伺服电机等。

1.2.4 检测反馈系统

检测反馈装置的作用对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测,把检测结果转化为电信号反馈给数控装置,通过比较,计算出实际位置与指令位置之间的偏差,并发出纠正误差指令。测量反馈系统可分为半闭环和闭环两种系统。半闭环系统中,位置检测主要使用感应同步器、磁栅、光栅、激光测距仪等。

1.2.5 机床主体

机床主体是加工运动的实际机械部件,主要包括:主运动部件,进给运动部件(如工作台、刀架),支承部件(如床身、立柱等),冷却、润滑、转位部件,夹紧、换刀机械手等辅助装置。

1.3 数控机床的工作原理

在数控机床上,工件加工的全过程是由数字指令控制的,在加工前要用指定的数字代码按照工件图样编制出程序,制成控制介质,输入到数控机床中,使之按指令自动加工工件,如图 1-1-3。

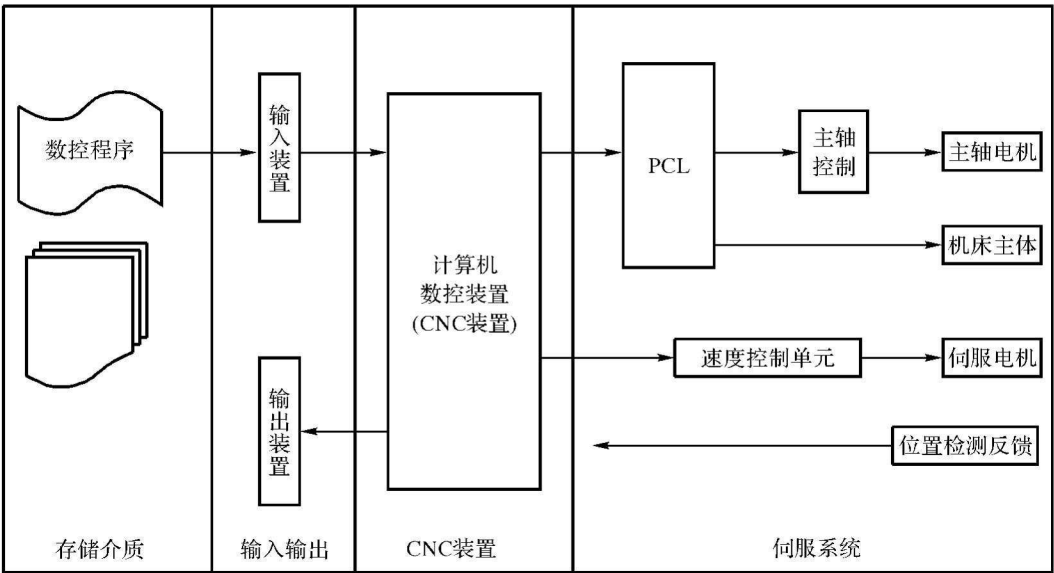


图 1-1-3 数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件经过以下步骤：

1.3.1 准备阶段

根据加工零件的图纸,确定有关加工数据(刀具轨迹坐标点、加工的切削用量、刀具尺寸信息等),根据工艺方案、夹具选用、刀具类型选择等确定有关其他辅助信息。

1.3.2 编程阶段

根据加工工艺信息,用机床数控系统能识别的语言编写数控加工程序,并填写程序单,程序就是对加工工艺过程的描述。

1.3.3 准备信息载体

根据已编好的程序单,将程序存放在信息载体(穿孔带、磁带、磁盘等)上,信息载体上存储着加工零件所需要的全部信息。目前,随着计算机网络技术的发展,可直接由计算机通过网络与机床数控系统通信。

1.3.4 加工阶段

当执行程序时,机床 CNC 系统将程序译码、寄存和运算,向机床伺服机构发出运动指令,以驱动机床的各运动部件,自动完成对工件的加工。

1.4 数控机床的加工特点

1.4.1 加工精度高、加工质量稳定

数控机床的机械传动系统和机构都有较高的精度、刚度和热稳定性;数控机床的加工精度不受零件复杂程度的影响,零件的加工精度和质量由机床保证,完全消除了操作者的人为误差。所以数控机床的加工精度高,加工误差一般能控制在 $0.005\sim 0.01\text{mm}$ 之内,而且同一批零件的加工一致性好,加工质量稳定。

1.4.2 加工生产效率高

数控机床结构刚性好、功率大、能自动进行切削加工,所以能选择较大的、合理的切削用量,并自动连续完成整个切削加工过程,能大大缩短机动时间。目前数控机床最高进给速度可达到 $100\text{m}/\text{min}$ 以上。一般来说,数控机床的生产能力约为普通机床的 3 倍,甚至更高。数控机床的时间利用率高达 90% ,而普通机床仅为 $30\%\sim 50\%$ 。

1.4.3 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控机床的加工,除了装卸零件、操作键盘、观察机床运行外,其他的机床动作都是按加工程序要求自动连续地进行切削加工,操作者不需进行繁重的重复手工操作。所以能减轻工人劳动强度,改善劳动条件。

1.4.4 对零件加工的适应性强、灵活性好

数控机床能实现几个坐标联动,加工程序可按对加工零件的要求而变换,所以它的适应性和灵活性很强,可以加工普通机床无法加工的形状复杂的零件。

1.4.5 有利于生产管理

数控机床加工,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化刀、夹、量具和半成品的管理工作。加工程序是用数字信息的标准代码输入的,有利于与计算机联结,构成由计算机来控制和管理的生产系统。

具体如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 数控机床与普通机床的比较

数 控 机 床	普 通 机 床
1. 操作者可在比较短的时间内掌握操作和加工技能 2. 加工精度高,质量稳定,较少依赖操作者的技能水平 3. 编制程序花费较多时间 4. 加工零件复杂程度高,适合多工序加工 5. 易于加工工艺标准化和刀具管理规范 6. 适于长时间无人操作和加工自动化 7. 适于计算机辅助生产控制 8. 生产率高	1. 要求操作者有长期的实践经验 2. 高质量、高精度的加工要求操作者具有高的技能水平 3. 适合加工形状简单、单一工序的产品 4. 加工过程要求具有直觉和技巧 5. 操作者以自己的方式完成加工,加工方式多样,很难实现标准化 6. 是实现自动化加工的准备环节必不可少的,如材料的预处理及夹具的制作等 7. 很难提高加工的专门技术,不利于知识系统化和普及 8. 生产率低,质量不稳定

1.5 数控机床的分类

数控机床品种繁多,根据数控机床的功能和组成,从如下不同角度进行分类。

1.5.1 按控制运动的方式分类

1.5.1.1 点位控制数控机床

点位控制数控机床的数控装置控制刀具从某一位置向另一目标点位置移动,对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求但最终能准确到达目标点位置的控制方式。点位控制的数控机床,刀具在移动过程中不进行加工,而是做快速空行程定位运动,如图 1-1-4 所示。

采用点位控制的有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

1.5.1.2 直线控制数控机床

这类机床不仅要控制点的准确定位,而且要求刀具(或工作台)以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工,如图 1-1-5 所示。

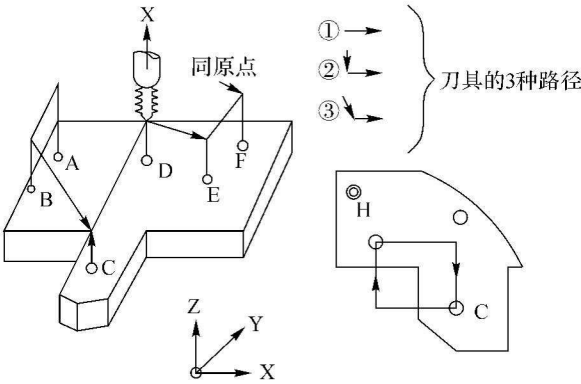


图 1-1-4 点位控制系统

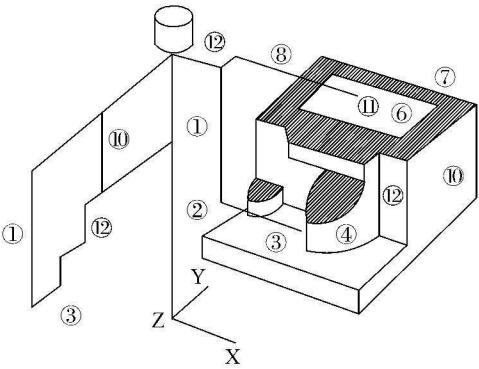


图 1-1-5 直线控制系统

采用直线控制的有简易数控车床、数控镗床等。

1.5.1.3 连续控制数控机床

连续控制系统又称轮廓控制系统,该系统对刀具相对于零件的运动轨迹进行连续控制,以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线。

这类机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求,如图 1-1-6 所示。

这类机床有数控铣床、数控磨床、加工中心等。

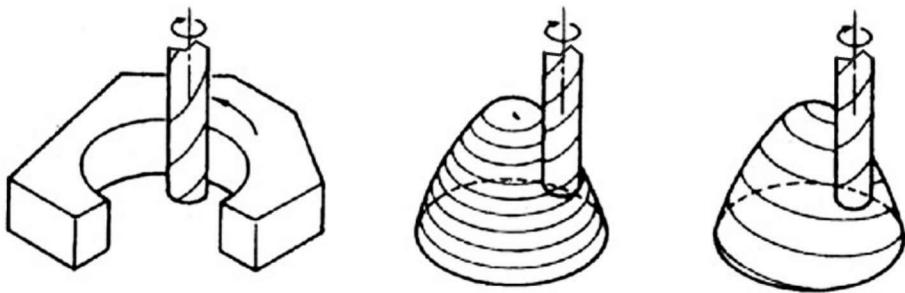


图 1-1-6 轮廓控制系统

1.5.2 按伺服系统分类

1.5.2.1 开环控制系统

开环控制系统是指不带反馈的控制系统,即系统没有位置反馈元件,通常用步进电机或电液伺服电机作为执行机构。输入的数据经过数控系统的运算,发出指令脉冲,通过环形分配器和驱动电路,使步进电机或电液伺服电机转过一个步距角。再经过减速齿轮带动丝杠旋转,最后转换为工作台的直线移动,如图 1-1-7 所示。

在开环控制中,机床没有检测和反馈装置,数控装置发出的信号是单向的。同时它不能纠正伺服系统的误差,所以这类机床的加工精度不高。但是这类系统结构简单、调试方便、工作可靠、稳定性好、价格低廉,因此被广泛用于精度要求不太高的经济型数控机床上。

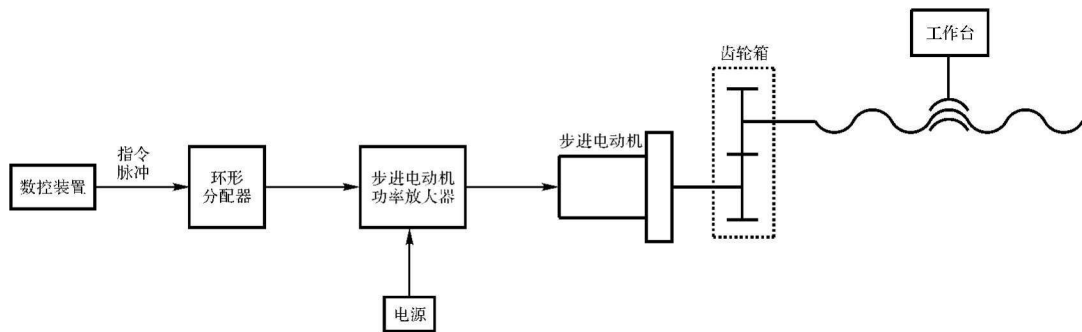


图 1-1-7 开环控制系统

1.5.2.2 闭环控制系统

闭环控制系统的工作原理是当数控装置发出位移指令脉冲,经电机和机械传动装置使机床工作台移动时,安装在工作台上的位置检测器就把机械位移变成电能量,反馈到输入端与输出信号比较,得到的差值经过放大和变换,最后驱动工作台向减少误差的方向移动,如图 1-1-8 所示。

与开环不同的是,闭环控制增加了比较电路和反馈装置,闭环可以消除伺服机构中出现