



21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

数控编程及应用

SHUKONG BIANCHENG

JI YINGYONG

林洁琼 / 主 编 ●



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社



21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

数控编程及应用

SHUKONG BIANCHENG

JI YINGYONG

林洁琼 / 主 编 ●



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社 长 春

内 容 提 要

本书是编者根据多年教学和科研实践经验编写的。全书共分7章。第1章介绍了数控机床的组成及工作原理。第2章介绍了数控机床的编程特点、方法、一般格式以及常用的基本指令。第3章、第4章和第5章结合实例,分别介绍了数控铣床、数控车床和加工中心的编程方法及特点。第6章结合实际重点介绍了自动编程软件 MasterCAM9 系统的特点及基本应用。第7章介绍了数控机床的总体机械结构和主要部件的种类及结构。

本书内容全面,系统,重点突出,实用性和通用性较强,可作为高职高专等职业技术院校和成人、民办高校机电、模具、数控等专业以及其他大中专院校数控课程的教材使用,也可作为这些专业的学生参加各类培训的参考教材和数控机床技术工人的培训教材,还可作为企业数控机床编程操作人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程及应用/林洁琼主编. —长春:东北师范大学出版社, 2006.9
ISBN 7 - 5602 - 4594 - 3

I. 数... II. 林... III. 数控机床—程序设计
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071809 号

☐责任编辑:王宏志 ☐封面设计:宋 超

☐责任校对:曲 颖 ☐责任印制:张允豪

东北师范大学出版社出版发行

长春市人民大街 5268 号 (130024)

电话:0431—5687213 5691263

传真:0431—5691969

网址: <http://www.nenup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

广告许可证:吉工商广字 2200004001001 号

东北师范大学出版社激光照排中心制版

制版热线:0431-5680137 0431-5693036 转 2098

长春市利源彩印有限公司印装

长春市净月小台工业区 邮编:130117

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:13 字数:300 千

印数:0 001—3 000 册

定价:16.00 元

如发现印装质量问题,影响阅读,可直接与承印厂联系调换

前 言

数控技术是现代化制造技术的基础，已被世界各国列为重点发展的关键技术，作为数控技术的集中代表——数控机床，自1952年出现以来，使全球制造业发生了根本改变，尤其在近年来得到了迅猛的发展，它的应用给现代制造业带来了巨大效益，现代化企业对于懂得数控加工技术，能实际进行数控加工编程操作技术人才的需求与日俱增，而且一直处于供不应求的状态。为此，我们立足于国内高等职业技术教育的实际需要，以及社会对应用型技术人才的需求，结合多年来的教学与实践经验，编写了这本教材。

本书针对高职教育实践性强的特点，结合大量实例，对几类典型数控机床（数控铣床、数控车床、加工中心等）的编程特点和方法进行了详尽的介绍。另外，还结合大多数数控机床的结构特点，对其主要部件进行了深入的剖析和讲解。力求使读者在掌握数控编程方法的同时，对数控机床的基本结构也能够有深入的了解，为以后实际操作和全面的应用，打下坚实的基础。此外，在相关章节中，还重点介绍了当前企业中流行的CAD/CAM软件——MasterCAM自动编程软件，对目前该软件的最新版本9.0进行了全面系统地介绍。全书在编写过程中，本着理论联系实际的原则，以简洁易懂的语言来表述相关理论知识，以实际应用为导向，使两者紧密结合，便于读者学习和理解。

本书第1章的1.3，1.4节，第2章及第6章由林洁琼老师编写，第3章、第4章及第5章的5.2，5.3节由李赫老师编写。第1章的1.1，1.2，1.5节，第7章的7.4，7.5，7.6节由常青老师和韦丽君老师编写，第5章的5.1节，第7章的7.1，7.2，7.3节由高明辉老师和王文晶老师编写。

本书特请吉林大学王义强教授担任主审。此外，在编写过程中还得到了许多专家同行的帮助，参考了一些兄弟院校的教材和资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平和经验有限，书中难免有疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2006年5月

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控技术的产生与发展过程	1
1.2 数控机床的组成及工作原理	2
1.3 数控加工的特点及数控机床的分类	4
1.4 数控机床加工过程的控制	8
1.5 机床数控技术的发展趋势	11
第 2 章 数控机床的编程基础	14
2.1 数控加工编程的基础知识	14
2.2 数控编程的基本指令	23
2.3 数控编程的工艺基础	33
第 3 章 数控铣床编程	38
3.1 数控铣床概述	38
3.2 数控铣床的编程方法和特点	41
3.3 铣床加工编程实例	68
第 4 章 数控车床编程	73
4.1 数控车床概述	73
4.2 数控车床的编程方法和特点	77
4.3 数控车床编程实例	99
第 5 章 加工中心编程	103
5.1 加工中心简介	103
5.2 加工中心的编程方法和特点	106
5.3 加工中心编程实例	113

第 6 章 图形交互式自动编程系统——MasterCAM9.0 的应用	121
6.1 自动编程概述	121
6.2 MasterCAM9.0 图形交互式自动编程系统	123
6.3 MasterCAM 的 CAD 功能	132
6.4 MasterCAM 的 CAM 功能	139
6.5 MasterCAM 综合应用实例	149
 第 7 章 数控机床的机械结构	 158
7.1 概 述	158
7.2 数控机床的主传动系统	160
7.3 进给传动系统	164
7.4 自动换刀装置	175
7.5 数控机床工作台	182
7.6 驱动装置及位置检测元件	187
 参考文献	 197

第1章

数控机床概述

【基本要求】掌握数控技术的基本概念和数控机床的工作原理、组成、分类及数控技术在机床加工过程中的控制与特点，了解数控技术的产生与发展过程，现代数控机床及数控技术的发展趋势。

【重点】重点掌握数控机床的工作原理。

【难点】数控机床加工过程的控制特点。

1.1 数控技术的产生与发展过程

数控技术是数字控制技术的简称，它是用数字化信息对设备运行及其加工过程进行控制的一种自动化技术。数控技术不仅用于数控机床的控制，还用于控制其他机械设备，如数控线切割机、机器人、自动绘图机、数控压力机、数控弯管机、数控弹簧机等。本书主要以机床数控系统为对象来讨论数控系统的工作原理，因此，书中的数控系统是指机床数控系统。

数控系统与数控机床本体的结合体称为数控机床。数控机床（numerical control machine tool）是采用数字控制技术（numerical control）的机械设备，是一种以数字量作为指令信息形式，通过专用的或通用的电子计算机控制的机床。它通过数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制，实现所要求的机械动作，自动完成加工任务。数控机床是具有高附加值的技术密集型产品，实现了高度的机电一体化，它集机械制造、计算机、微电子、现代控制及精密测量等多种技术为一体，使传统的机械加工工艺发生了质的变化，这个变化的本质就在于用数控系统实现了加工过程的自动化。

科学技术的迅速发展，对机械产品提出了高精度、高复杂性的要求，而且产品改型频繁。这对机床设备不仅提出精度与效率的要求，也提出了通用性与灵活性的要求，特别是宇航、造船、武器生产等工业部门，需要加工的零件大多具有精度高、形状复杂、批量

小、品种多变等特点。使用普通机床加工这些零件变得很困难，有些零件甚至无法加工。世界上第一台数控机床是为满足航空工业复杂零件的加工要求而产生的。1948年，美国巴森兹公司在研制加工直升机叶片轮廓时，提出了数控机床的初步设想。后来，受空军委托，与麻省理工学院（MIT）合作，开始了将三坐标铣床数控化的研究工作。1952年，研制出了世界上第一台数控机床。数控技术的发展经历了以下几个主要阶段：

- ① 1952年，电子管控制数控机床；
- ② 1959年，晶体管控制数控机床；
- ③ 1965年，小规模集成电路数控机床；
- ④ 1970年，小型计算机控制数控机床；
- ⑤ 1974年，微处理器为核心的数控系统。

前三代数控系统都是专用控制计算机数控系统，称为硬件 NC 系统，只能完成固定的控制功能。第四代数控系统以软件控制为主，所以又称为软件数控。

我国早在 1958 年就开始研制数控机床，一些高等院校、科研单位、企业从采用电子管着手，到 60 年代曾研究出部分样机，1965 年开始研制晶体管数控系统。20 世纪 70 年代初期，曾掀起研制数控机床的热潮，但由于历史原因，一直没有取得实质性进展。80 年代初随着改革开放政策的实施，我国从国外引进技术，开始了批量生产微处理机数控系统，推动了我国数控机床的发展，使数控机床在性能和质量上产生了质的飞跃。80 年代末，我国还在一定范围内探索实施 CIMS，取得了一些有益的经验 and 效益。90 年代我国还加强了自主知识产权数控系统的研制工作，取得了一定的成效，如在五轴联动数控系统、高精度车床数控系统、数字仿形系统、中低档数控系统等方面都获得了较好的成果。

1.2 数控机床的组成及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

如图 1-1 所示，数控机床主要由程序及载体、输入/输出装置、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床主体组成。此外，数控机床还有许多辅助装置。现将各组成部分介绍如下：

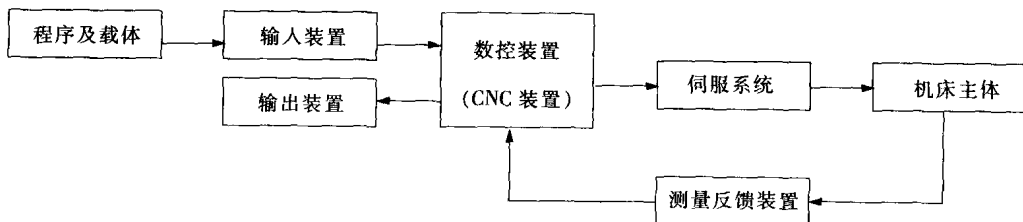


图 1-1 数控机床组成框图

1. 程序及载体

用数控机床加工零件时，须要根据零件图纸上的信息制定加工工艺，将全部加工过

程编制成加工程序。加工程序可直接存入 CNC 的存储器,也可存储在某种信息载体上。信息载体有穿孔纸带、磁带、磁盘等。

2. 输入/输出装置

输入/输出设备的主要功能是:编制程序,输入程序和数据,打印和显示。存储在信息载体上的加工程序须要通过输入装置送给 CNC 装置,目前 CNC 机床上常用的输入装置有纸带阅读机和软盘驱动器,数控程序也可以通过键盘用 MDI(手动数据输入)方式输入或由编程计算机用 RS232 串行通信接口传送到数控装置。输出装置的作用是将 CNC 装置中存储的加工程序存储到信息载体(如磁盘)上。这一部分的硬件,简单的可能只有键盘和发光二极管显示器,一般的可再加上纸带、光电读带机、磁带、磁盘输入机、人机对话编程操作键盘和 CRT 显示器。目前通常还包含有一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控机床都采用计算机数控装置,即 CNC 装置。它是采用存储程序的专用计算机,由硬件和软件组成。硬件由各种输入输出接口电路、微处理器(CPU)、存储器等组成。软件是为了实现 CNC 系统各项控制功能而编制的专用软件,又称为系统软件。数控装置的软件系统分为管理软件和控制软件。CNC 装置的工作是在硬件的支持下执行软件的全过程,控制机床按规定的动作执行加工任务。

4. 伺服驱动系统

伺服驱动系统是数控机床的执行机构之一,执行由 CNC 装置输出的运动指令。它的作用是把来自 CNC 装置的指令信息转换成机床移动部件的运动。数控机床的伺服驱动系统包括进给驱动(主要有速度控制和位置控制)、主轴驱动(主要是速度控制)、主轴电机和进给电机等。伺服电机可以是步进电机、直流伺服电机或交流伺服电机。

5. 检测装置

该装置可以包括在伺服系统中,它由检测元件和相应的测量电路组成,其作用是检测速度和位移,并将信息反馈给数控装置,实现闭环或半闭环控制。没有测量反馈装置的系统称为开环数控系统。常用的测量元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

6. 机床主体

主机是数控机床的主体,是被控制的对象,包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件,用于完成各种切削加工。一般须要对它进行位移、角度、速度和各种开关量的控制。数控机床采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置,其机械传动结构得到了简化。

为了实现数控机床整机的全自动化控制,还需要配备许多辅助装置,如液压和气动装置、自动换刀装置、自动工作台交换装置、自动对刀装置、自动排屑装置等。

1.2.2 数控机床的工作原理

数控机床加工零件是按照事先编制好的加工程序单来进行的。数控机床是数字控制技术与机床相结合的产物,它是一种利用信息技术进行自动加工的机床。数控机床与普通机床相比较,其工作原理的不同之处在于数控机床是按数字形式给出的指令进行

加工。

首先分析被加工零件的图纸，将被加工零件的样图及工艺信息数字化，用规定的代码和程序格式编写加工程序，然后将所编程序指令输入到机床的数控装置中，数控装置再将程序进行翻译、运算后，向机床各个坐标的伺服机构发出指令信号，信号经驱动电路放大处理，驱动伺服电机输出角位移和角速度，并通过机床本体的传动装置转换为执行部件的直线位移，实现进给运动。同时，数控装置通过强电控制装置——可编程序控制器（PLC）实现机床各个运动部件完成所需的辅助动作，如自动变速、主轴自动启停、冷却液的自动开停、工件的自动松夹及刀具的自动更换等，配合进给运动完成对零件的自动加工，最后加工出合格零件。当更换加工对象时，只需要重新编写程序代码，即可由数控装置自动控制加工的全过程，能较方便地加工出任意复杂的零件。数控加工的原理如图 1-2 所示。

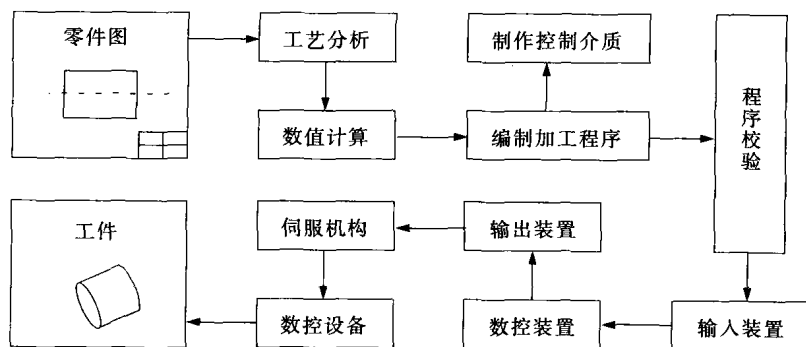


图 1-2 数控加工原理框图

1.3 数控加工的特点及数控机床的分类

1.3.1 数控加工的特点

目前，为了适应产品多样化和产品更新模块化的要求，多品种、小批量的生产模式逐步占主导地位，同时航空、造船、汽车、电子、模具等工业对形状复杂零件的高效率、高精度加工要求越来越高。刚性自动化生产线已很难满足这些领域的要求，而以一种灵活、通用、高精度、高效率的数控机床为基础的柔性自动化生产系统便应运而生，迅速发展起来。

数控机床是一种新型的自动化生产设备，它具有广泛的通用性和很高的自动化程度。数控机床是实现柔性自动化的关键设备，是柔性自动生产线的基本单元。数控机床的技术含量大，具备一般机床不具备的许多优点。若从最经济的方面考虑，数控机床适用于加工多品种小批量的零件，几何形状复杂的零件，需要频繁改型的零件，需要进行多工序加工的零件，价格昂贵的零件，需全部检验的零件以及需严格控制公差零件等。

数控机床的加工特点:

(1) 适应性强, 柔性好

数控机床灵活、通用、万能, 可实现多个坐标的联动控制, 它能加工普通机床难以或无法完成的复杂型面零件的加工。当加工零件改变时, 除了要解决毛坯的装夹方式和更换刀具之外, 数控设备只需更换零件加工的程序, 不需要作其他任何复杂的调整, 且可采用成组技术的成套夹具, 因此缩短了生产准备周期, 有利于实现机械产品的迅速更新换代。

(2) 自动化程度高, 生产效率高

数控机床采用较大的切削用量, 具有自动变速、自动换刀、自动交换工件的能力, 与普通机床相比生产率可提高 3~5 倍。对于复杂型面零件的加工, 生产率可提高 10 倍甚至几十倍, 大大减轻了工人的劳动强度。

(3) 精度高, 质量稳定

数控机床按照预先编制好的程序自动加工零件, 加工过程不需要人工干预, 且不受零件复杂程度的影响, 故加工零件的一致性好, 重复精度高。数控设备的加工精度一般在 0.005~0.1 mm 之间, 对于中小型数控机床, 定位精度普遍可以达到 0.03 mm, 重复定位精度为 0.01 mm。由于数控设备的多种传动链都可以通过数控装置自动进行补偿, 所以其定位精度非常高。在批量生产中, 由于使用相同的硬件环境和同一个加工程序, 刀具的运动轨迹完全相同, 且数控设备的大部分操作都是由机器自动完成的, 因此可以消除人为的误差, 保证零件的加工精度和质量的稳定。

(4) 加工工序相对集中

一机多能, 再配以分度工作台或数控转台, 数控设备通常可以在一次零件定位装夹中完成多工位、多面、多刀加工, 加工出许多表面。一台数控机床可以代替数台普通机床, 这样可以减少装夹误差, 节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间, 既有利于提高加工零件的精度, 又可以节省机床的占地面积, 极大地提高了企业的经济效益。

(5) 适于现代化管理

数控机床是一种高新技术设备, 使用数字信息与标准代码处理、传递信息, 使用计算机控制方法, 易于建立与计算机间的通信联络, 为计算机辅助设计、制造及管理一体化奠定了基础。

1.3.2 数控机床的分类

目前数控机床的品种较为齐全, 其分类方法有很多种。

1. 按加工功能分类

(1) 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床有数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控刨床、加工中心等。

(2) 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床包括数控折弯机、数控弯管机、数控板材成形加工机床等。

(3) 特种加工机床

数控特种加工机床包括数控线切割机床、数控电火花加工机床及数控激光切割机床等。

(4) 其他数控机床

如数控火焰切割机床、数控等离子切割机、数控缠绕机、数控三坐标测量机等。

2. 按运动控制的特点分类

(1) 点位控制数控机床

对于一些加工孔用的数控机床,如数控钻床、数控冲床、数控镗床等,它们只要求获得精确的孔系坐标定位精度,要求控制刀具(或工作台)从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不作切削加工,因此不控制运动轨迹,各坐标轴可以同时移动,也可以依次运动。点位控制的数控机床加工的都是平面内的孔系,如图1-3所示,为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度,一般先快速移动,当接近终点位置时,再减速缓慢趋近终点,以保证定位精度,从而实现一点到另一点的准确位移。

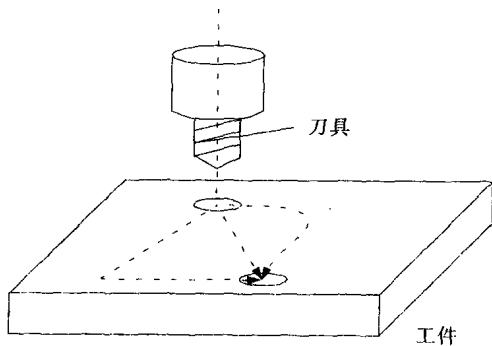


图1-3 点位控制钻孔加工示意图

(2) 点位直线控制数控机床

点位直线控制的数控机床是指控制机床工作台或刀具以要求的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工的机床,如图1-4所示。这类机床的特点是加工移动部件不仅要实现从一个位置到另一个位置的精确移动,而且能实现平行于坐标轴的直线切削加工运动及沿与坐标轴成 45° 的斜线运动。这种控制常用于数控车床、数控镗床和加工中心等。这类机床不仅要求具有准确的定位功能,而且要能够控制位移的速度。

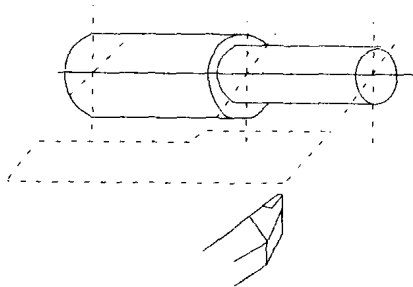


图1-4 点位直线控制加工示意图

(3) 轮廓控制数控机床

该机床可以加工斜线、曲线、曲面,如数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。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,即控制刀具运动的轨迹,运动轨迹可为任意方向的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线。这种数控系统有一个轨迹插补器,根据运动轨迹和速度精确计算并控制各个伺服电机沿轨迹运动,使合成的平面或空间运动轨迹能满足零件轮廓的要求。图1-5所示的是轮廓控制数控机床的加工示意图。

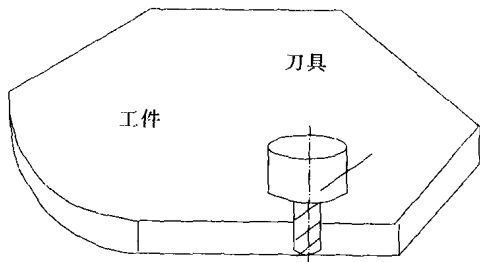


图1-5 轮廓控制数控机床的加工示意图

3. 按伺服系统的类型分类

按照伺服系统的控制方式，可以把数控系统分为以下几类：

(1) 开环控制数控系统

这类数控系统不带检测装置，也无反馈电路，以步进电动机为驱动元件，如图 1-6 所示。CNC 装置输出的进给脉冲指令经驱动电路进行功率放大，转换为控制步进电动机各定子绕组依次通电/断电的电流脉冲信号，驱动步进电动机转动，再经机床传动机构（齿轮传动、丝杠等）带动工作台移动。这种方式控制简单，系统也比较稳定，价格比较低廉，但精度较低，被广泛应用于中小型或经济型数控机床和旧设备的数字化改造中。

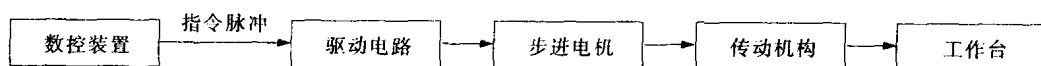


图 1-6 开环控制系统框图

(2) 闭环控制数控系统

该系统的位置检测装置安装在机床工作台上，用以检测机床工作台的实际位置（通常为直线位移），并将其与 CNC 装置计算出的指令位置（绝对或相对位置）相比较，利用其差值控制伺服电动机，直至差值为零时停止。这类机床一般采用直流伺服电动机或交流伺服电动机驱动。位置检测元件通常有直线光栅、磁栅、同步感应器等，其控制框图如图 1-7 所示。该系统可以消除包括工作台传动链在内的传动误差，因而定位精度高。虽然这类控制方式的位置控制精度很高，但由于传动机构及机床工作台等大惯性环节包括在闭环内，使得系统的稳定状态很难调控。该系统一般适用于精度要求较高的数控设备，如数控精密镗铣床。

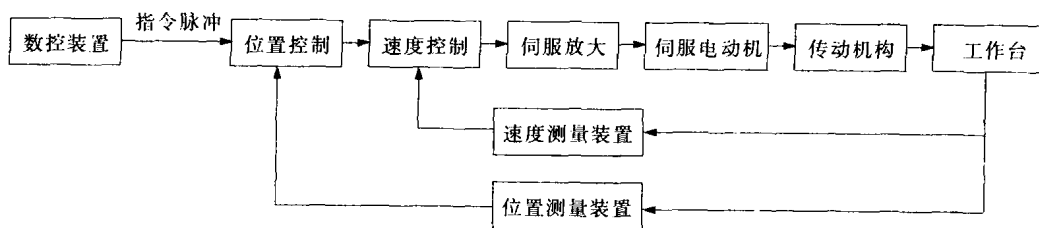


图 1-7 闭环控制系统框图

(3) 半闭环控制数控系统

半闭环控制系统是将位置检测元件安装在伺服电动机的轴上或滚珠丝杠的端部，通过角位移的测量间接地计算出机床工作台的实际位置（直线位移），并将其与 CNC 装置计算出的指令位置（或位移）相比较，用差值控制伺服电动机，其控制框图如图 1-8 所示。可以看出，由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制。由于闭环的环路内不包括传动机构及机床工作台等大惯性环节，由这些环节造成的误差不能由环路来矫正，其控制精度不如闭环控制数控系统，但其调试方便，可以获得比较稳定的控制特性。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统，但低于闭环系统，速度比开环系统高，调试比闭环控制系统容易，设备的成本介于开环与闭环控制系统之间，广泛应用

于各类中等精度以上连续控制的数控机床中。

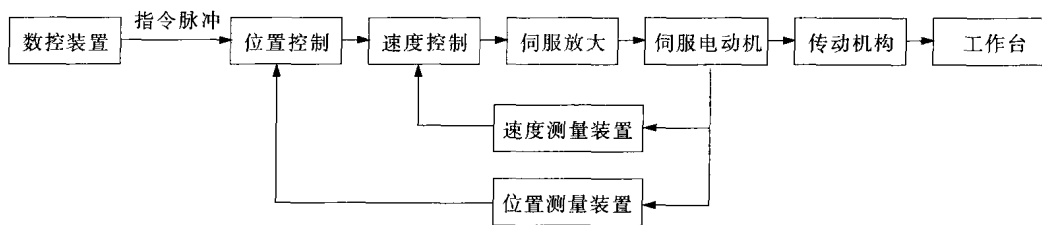


图 1-8 半闭环控制系统框图

4. 按数控系统功能水平分类

按照数控系统的功能水平，数控系统可以分为经济型（低档型）、普通型（中档型）和高档型三种。这种分类方法没有明确的定义和确切的分类界线，且不同时期、不同国家的类似分类含义也不同。数控机床水平的高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来决定。就目前的发展水平看，可以根据表 1-1 的一些功能指标来划分，其中高、中档一般称为全功能数控或标准型数控。

表 1-1 数控系统功能水平分类表

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	一般无	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	还有三维图形显示
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位以上或 32 位以上的多 CPU	

1.4 数控机床加工过程的控制

1.4.1 插补运算

数控机床通过控制刀具相对零件的运动实现对零件的加工。数控机床在加工零件时，首先将被加工零件图纸上的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序，

数控装置按加工程序规定的运动轨迹要求, 经过数控系统信息处理、分配, 通过不断地向各坐标轴方向输出脉冲指令, 使各坐标移动若干个最小位移量, 控制刀具沿各坐标移动若干个脉冲当量, 实现刀具对工件的相对运动, 完成对零件的加工。

如图 1-9 所示, 曲线 L 表示预加工的零件外形, 将曲线 L 分成 $l_0, l_1, l_2, \dots, l_i$ 等线段。用直线 (或圆弧) 代替 (或逼近) 这些线段, 当逼近误差 δ 相当小时, 这些折线段之和就接近了曲线 L 。由机床的数控装置进行计算、分配, 通过两个坐标轴最小单位量的单位运动 (Δx 、 Δy) 的合成, 不断连续地控制刀具运动, 不偏离地走出直线 (或圆弧), 从而非常逼真地加工出平面曲线。设加工 l_i 的时间为 t_i , 则当 $t_i \rightarrow 0$ 时, 各微线段之和接近于曲线 L , 即

$$\lim_{t_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{\infty} l_i = L$$

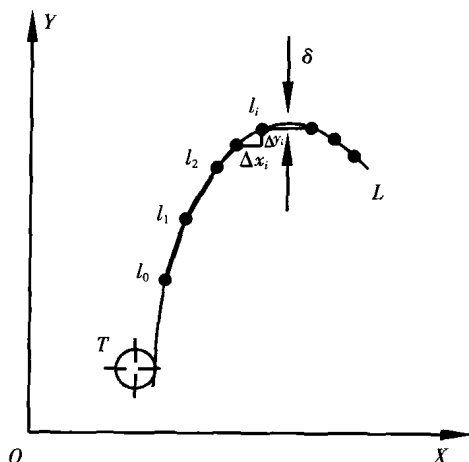


图 1-9 插补原理图

实际上可把每一微线段看成刀具沿两个坐标轴运动的合成轨迹。设在 t_i 时间内, 刀具在 X 坐标、 Y 坐标方向的移动量为 Δx_i 和 Δy_i , 则有

$$l_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$$

合成速度为:

$$v_i = \frac{l_i}{t_i} = \sqrt{(\Delta x_i / t_i)^2 + (\Delta y_i / t_i)^2} = \sqrt{\Delta v_{xi}^2 + \Delta v_{yi}^2}$$

当 l_i 的斜率不断变化时, 刀具进给速度沿 X 方向及 Y 方向的分量 Δv_{xi} 和 Δv_{yi} 的比值也随之变化。只要根据 l_i 斜率的变化连续自动控制 X 和 Y 方向运动速度的比值 (即数控装置向每个坐标连续发出适合这种变化的脉冲信号), 就可实现对曲线 L 的数控加工。

这种在允许的误差范围内, 用沿曲线的最小单位移动量合成的分段运动代替任意曲线运动, 以得出所需要的运动, 是数字控制的基本构思之一。数控装置在控制刀具沿零件轮廓加工时, 需要在规定的加工轮廓起点和终点之间计算出多个中间点的坐标值, 以控制机床沿各坐标轴的运动, 这种计算中间点坐标值的过程称为插补运算。插补实质是数控系统根据零件轮廓线型的有限信息 (如直线的起点、终点, 圆弧的起点、终点和圆心等), 计算出刀具的一系列加工点, 完成所谓的“数据密化”工作。插补有两层含义: 一是产生基本线型, 二是用基本线型拟合其他轮廓曲线。现代数控机床常采用的插补算法有脉冲增量插补和数据采样插补两大类。脉速增量插补主要有两种方法, 即逐点比较法和数字积分法 (如 digital differential analyzer, 简称 DDA)。

1.4.2 逐点比较法

1. 插补原理及特点

逐点比较法是一种由运动偏差产生信息的插补方法, 通过不断比较刀具与被加工零

件轮廓之间的相对位置, 决定刀具的进给。其基本原理是每次仅向一个坐标轴输出一个进给脉冲, 而每走一步都要通过偏差函数计算, 判断偏差点的瞬时坐标同规定加工轨迹之间的偏差, 然后决定下一步的进给方向。每个插补循环由偏差判别、进给控制、偏差函数计算和终点判别四个步骤组成。

2. 逐点比较法直线插补

如图 1-10 所示, 直线插补时, 通常给定直线起点为坐标原点, 对于第一象限直线 OE , 终点坐标为 $E(X_e, Y_e)$ 。插补过程如下:

(1) 偏差判别

直线 OE 的方程可表示为:

$$\frac{X}{Y} - \frac{X_e}{Y_e} = 0$$

可写为 $YX_e - XY_e = 0$

若刀具加工动点坐标为 $I_i(X_i, Y_i)$, 则该点的判别方程 F_i (F_i 称为偏差函数) 可表示为:

$$F_i = Y_i X_e - X_i Y_e$$

若 $F_i = 0$, 则加工点在直线上;

若 $F_i > 0$, 则加工点在直线上方;

若 $F_i < 0$, 则加工点在直线下方。

(2) 进给控制

若 $F_i \geq 0$, 规定向 $+X$ 方向走一步; 若 $F_i < 0$, 规定向 $+Y$ 方向走一步。

(3) 偏差函数计算

若沿 $+X$ 方向走了一步, 则有

$$\begin{cases} X_{i+1} = X_i + 1 \\ F_{i+1} = X_e Y_i - Y_e (X_i + 1) = F_i - Y_e \end{cases}$$

同理, 若沿 $+Y$ 方向了走一步, 则有

$$\begin{cases} Y_{i+1} = Y_i + 1 \\ F_{i+1} = X_e (Y_i + 1) - Y_e X_i = F_i + X_e \end{cases}$$

(4) 终点判别

直线插补的终点判别可采用三种方法:

- ① 判别插补或进给的总步数: 把 $N = X_e + Y_e$ 作为计数长度;
- ② 判别进给步数较多的坐标轴的进给步数;
- ③ 分别判别各坐标轴的进给步数。

例 1-1 如图 1-11 所示, 插补第一象限直线 OA , 插补从直线起点 O 开始, 终点坐标 $X_e = 6, Y_e = 4$, 脉冲当量为 1, 以进给总步数为计数长度。

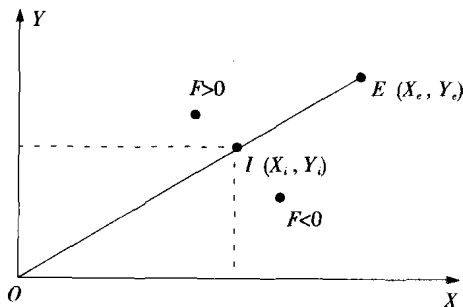


图 1-10 逐点比较法直线插补

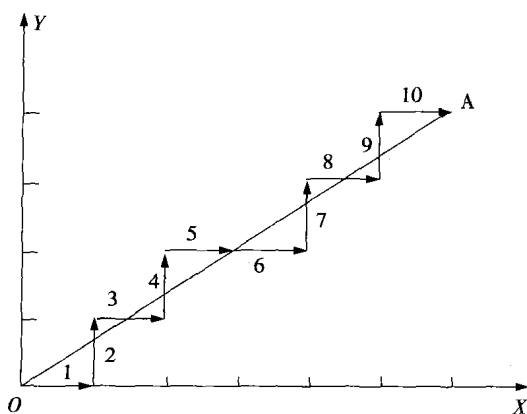


图 1-11 逐点比较法直线插补

解：因为插补从直线起点 O 开始，故 $F_0=0$ ，进给总步数 $N=6+4=10$ ，将其存入终点判别计数器中，每进给一步减 1，若 $N=0$ ，则插补结束。其插补运算过程如表 1-2 所示。

表 1-2 直线插补运算过程

步 数	判 别	坐标进给	偏差计算	终点判别
0			$F_0=0$	$\Sigma=10$
1	$F=0$	$+X$	$F_1=F_0-Y_0=0-4=4$	$\Sigma=10-1=9$
2	$F<0$	$+Y$	$F_2=F_1+X_0=-4+6=2$	$\Sigma=9-1=8$
3	$F>0$	$+X$	$F_3=F_2-Y_0=2-4=-2$	$\Sigma=8-1=7$
4	$F<0$	$+Y$	$F_4=F_3+X_0=-2+6=4$	$\Sigma=7-1=6$
5	$F>0$	$+X$	$F_5=F_4-Y_0=4-4=0$	$\Sigma=6-1=5$
6	$F=0$	$+X$	$F_6=F_5-Y_0=0-4=-4$	$\Sigma=5-1=4$
7	$F<0$	$+Y$	$F_7=F_6+X_0=-4+6=2$	$\Sigma=4-1=3$
8	$F>0$	$+X$	$F_8=F_7-Y_0=2-4=-2$	$\Sigma=3-1=2$
9	$F<0$	$+Y$	$F_9=F_8+X_0=-2+6=4$	$\Sigma=2-1=1$
10	$F>0$	$+X$	$F_{10}=F_9-Y_0=4-4=0$	$\Sigma=1-1=0$

1.5 机床数控技术的发展趋势

当前，数控技术的典型应用是 FMC/FMS/CIMS，其发展方向是高速化、高精度化、高效加工、多功能化、小型化、复合化、开放化和智能化。目前的动向是开放式数控系统和高速加工系统。