

【高等职业技术教育规划教材——数控、模具技术技能实训】

SHUKONG JISHU

JICHU MOKUAI

数控技术

基础模块

主 编 张 权 汪 萍
副主编 唐昌建 徐 玲 伍 毅



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等职业技术教育规划教材——数控、模具技术技能实训

数控技术基础模块

主 编 张 权 汪 萍

副主编 唐昌建 徐 玲 伍 毅

主 审 王渝俊

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

数控技术基础模块 / 张权, 汪萍主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2010.8

高等职业技术教育规划教材. 数控、模具技术技能实训

ISBN 978-7-5643-0824-7

I. ①数… II. ①张… ②汪… III. ①数控机床—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 164675 号

高等职业技术教育规划教材——数控、模具技术技能实训

数控技术基础模块

主编 张 权 汪 萍

责任编辑	孟苏成
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川经纬印务有限公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	6.375
字 数	159 千字
版 次	2010 年 8 月第 1 版
印 次	2010 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-0824-7
定 价	12.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

《高等职业技术教育规划教材——数控、模具技术技能实训》系列教材用于高职高专实践教学，亦可用于行业培训。以抓住“技能”这个核心要素，研究课程理论与实际的结合，用“新模式”贯穿整个教学过程，探索出自己的教学模式：从零件图样—平面造型—立体建模—自动编程—仿真验证—实际制造，详细介绍数控技术系列技能。同时，结合职业教育特点，以培养职业技能为特色，培养技术应用能力和岗位工作能力为核心。知识内容的选择坚持“必需、够用、实用”的原则，突出体现“知识新、理念新、技术新”的编写思路，不追求理论知识的系统性和完整性。实践内容结合国家职业标准要求，通过大量实用性较强的例题、习题训练，帮助学生较快地掌握生产第一线数控技术应用技能、加工工艺设计与实施、程序编制及数控机床操作等技能，将计算机辅助设计，辅助制造，计算机仿真技术引入数控技术的应用中，提高了教学质量和教学效率，降低了教学成本，保证了培养目标的完成，使数控技术的应用提高了一个台阶，取得了良好的教学效果。全书由四川科技职业学院实训中心数控技能教学团队组织编写。

数控技术基础模块编写包括数控机床入门、加工工艺基础、数控加工工艺基础、数控加工的编程基础等内容；以项目任务的结构形式设计，每个任务包括实训目的、实训指导、操作练习、注意事项、思考题等部分。本书由张权、汪洋主编，唐昌建、徐玲、伍毅副主编，王渝俊主审。

限于编者的水平有限，加之时间仓促，书中不足之处，恳请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者
2010年7月

目 录

项目 1 数控机床入门.....	1
任务 1.1 认识数控机床	1
任务 1.2 计算机数控系统的工作流程	5
任务 1.3 数控插补原理	8
任务 1.4 数控刀具半径补偿	15
任务 1.5 数控机床的坐标系	19
项目 2 加工工艺基础.....	22
任务 2.1 生产过程和工艺过程.....	22
任务 2.2 工件获得较高精度的方法	26
任务 2.3 工件加工余量	31
任务 2.4 工件加工精度	34
任务 2.5 工件表面质量	39
项目 3 数控加工工艺基础	42
任务 3.1 数控加工工艺系统的基本组成	42
任务 3.2 零件加工工艺性分析.....	44
任务 3.3 数控加工工艺路线设计	47
任务 3.4 数控加工刀具的特点和种类	51
任务 3.5 数控机床夹具的类型和特点	54
任务 3.6 数控机床切削用量的确定及数控加工工艺文件的编制	55
项目 4 数控加工的编程基础	59
任务 4.1 数控加工技术概述	59
任务 4.2 数控编程的内容与方法	62
任务 4.3 数控机床的坐标系统与刀具运动	64
任务 4.4 数控系统与加工功能.....	69
任务 4.5 数控加工程序的结构与格式	73
项目 5 数控仿真技术.....	78
任务 5.1 FANUC 0i 数控铣床仿真操作.....	78
任务 5.2 数控铣床刀具补偿参数、程序处理和仿真加工	83

项目 1 数控机床入门

数控机床又称 CNC 机床，是用计算机数字控制的机床。普通机床要靠手工操作机床来完成各种切削加工，而数控机床加工零件时，只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成程序代码输入到机床控制系统中，再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号，从而控制机床各部件协调动作，自动地加工出零件来。当更换加工对象时，只需要重新编写程序代码，输入给机床，即可由数控装置代替人的大脑和双手的大部分功能，控制加工的全过程，制造出任意复杂的零件。因此，目前数控机床使用较为广泛。

任务 1.1 认识数控机床

1.1.1 实训目的

- (1) 了解数控机床的产生背景、发展趋势及先进的制造技术。
- (2) 熟悉数控机床加工特点和加工对象。
- (3) 掌握数控机床的组成及种类。
- (4) 数控机床加工的特点及应用。

1.1.2 实训指导

1.1.2.1 数控机床的产生与发展

1. 数控机床的产生

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。半个世纪以来，数控技术得到了迅猛的发展，加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今经历了两个阶段和六代产品。

- 1952 年的第一代——电子管数控机床；
- 1959 年的第二代——晶体管数控机床；
- 1965 年的第三代——集成电路数控机床；
- 1970 年的第四代——小型计算机数控机床；
- 1974 年的第五代——微型计算机数控系统；
- 1990 年的第六代——基于 PC 的数控机床。

2. 数控机床的发展趋势

- (1) 高速度高精度化。
- (2) 多功能化、智能化、小型化。
- (3) 高可靠性。

1.1.2.2 数控机床的概念及组成

1. 数控机床的基本概念

(1) 数控 (Numerical Control, 简称 NC) 是采用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的方法。

(2) 数控机床 (Numerically Controlled Machine Tool) 是指装备了计算机数控系统的机床, 简称 CNC 机床。

2. 数控机床的组成

计算机数控机床由输入输出装置、计算机数控装置、伺服系统和机床本体等部分组成, 其组成框图如图 1.1 所示。

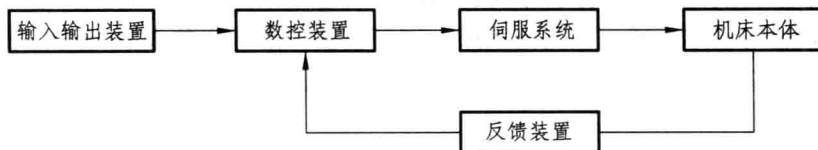


图 1.1 数控机床的组成

1.1.2.3 数控机床的种类与应用

1. 按工艺用途分类

- (1) 金属切削类数控机床。
- (2) 金属成型类数控机床。
- (3) 数控特种加工机床。
- (4) 其他类型的数控机床。

2. 按机床运动的控制轨迹分类

1) 点位控制数控机床

(1) 点位控制只要求控制机床的移动部件从某一位置移动到另一位置的准确定位, 对于两位置之间的运动轨迹不作严格要求, 在移动过程中刀具不进行切削加工, 如图 1.2 所示。

(2) 为了实现既快又准的定位, 常采用先快速移动, 然后慢速趋定位点位的方法来保证定位精度。

(3) 主要有数控钻床、数控冲床、数控镗床、数控点焊机等。

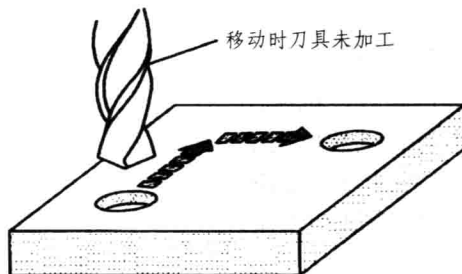


图 1.2 点位数控机床加工示意图

2) 直线控制数控机床

(1) 直线控制数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外, 还要保证两点之间

移动的轨迹是一条与机床坐标轴平行的直线。

(2) 对移动的速度也要进行控制, 因为这类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工, 如图 1.3 所示。

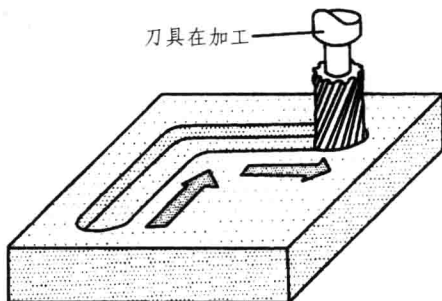


图 1.3

3) 轮廓控制数控机床

(1) 轮廓控制能够对两个或两个以上的运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制, 因而可以进行曲线或曲面的加工, 如图 1.4 所示。

(2) 具有轮廓控制功能的数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等。

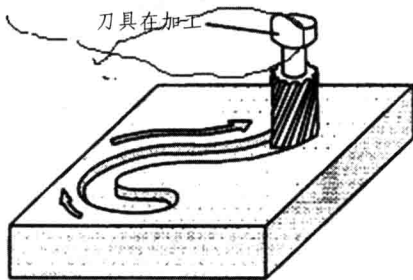


图 1.4

3. 伺服控制的方式分类

1) 开环控制系统

开环控制系统是指不带反馈的控制系统, 其特点是: 开环控制具有结构简单、系统稳定、容易调试、成本低等优点。但是系统对移动部件的误差没有补偿和校正, 所以精度低。一般适用于经济型数控机床和旧机床数控化改造。

如图 1.5 所示为开环控制系统, 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。

2) 半闭环控制系统

(1) 半闭环控制系统是在开环系统的丝杠上装有角位移测量装置, 通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移, 反馈到数控系统中, 由于惯性较大的机床移动部件不包括在检测范围之内, 因而称作半闭环控制系统, 如图 1.6 所示。

(2) 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。机械传动环节的误差, 可用补偿的办法消除, 可获得满意的精度。中档数控机床广泛采用半闭环数控系统。

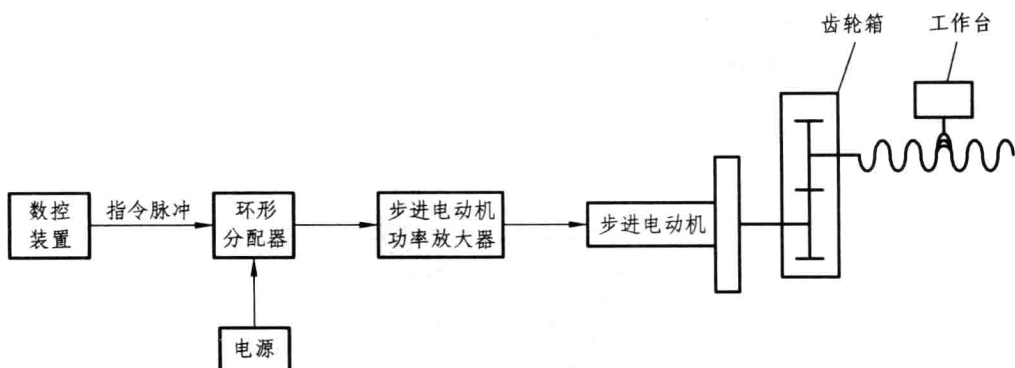


图 1.5 开环控制系统

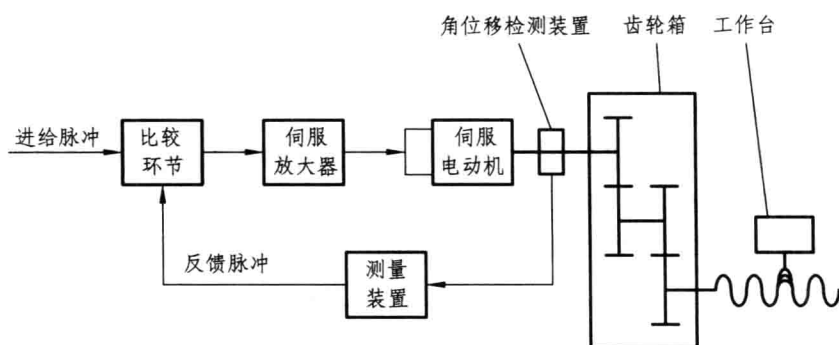


图 1.6 半闭环控制系统

3) 闭环控制系统

(1) 在机床移动部件上直接装有位置检测装置，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，使移动部件按照实际的要求运动，最终实现精确定位，原理如图 1.7 所示，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。

(2) 该系统定位精度高、调节速度快。该系统调试工作困难，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、超精密数控车床等。

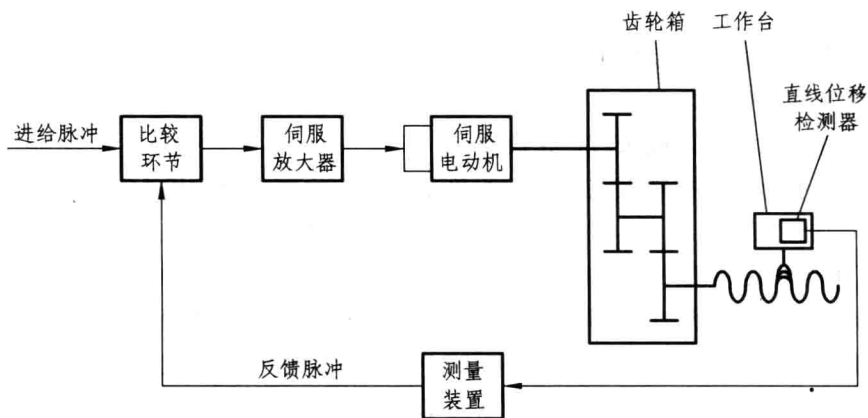


图 1.7 闭环控制系统

4. 按数控系统功能水平分类

数控机床按数控系统的功能水平可分为低、中、高三档。

1.1.2.4 数控机床加工的特点及应用

1. 数控机床加工的特点

- (1) 可以加工具有复杂型面的工件。
- (2) 加工精度高, 质量稳定。
- (3) 生产率高。
- (4) 改善劳动条件。
- (5) 有利于生产管理现代化。

2. 数控机床的适用范围

- (1) 多品种、单件小批量生产的零件或新产品试制中的零件。
- (2) 几何形状复杂的零件。
- (3) 精度及表面粗糙度要求高的零件。
- (4) 加工过程中需要进行多工序加工的零件。
- (5) 用普通机床加工时, 需要昂贵工装设备(工具、夹具和模具)的零件。

1.1.2.5 先进制造技术

- (1) 快速原型法(又称快速成形法)。
- (2) 虚拟制造技术。
- (3) 柔性制造系统(FMS)。
- (4) 柔性制造单元(FMC)。
- (5) 计算机集成制造系统(CIMS)。

1.1.3 现场教学

用半天的时间到工厂及数控加工实训室参观各类数控设备的结构及其加工零件的运动过程, 并建议到图书馆、阅览室了解机械及数控加工等方面有哪些书籍及杂志, 上网查询数控机床的最新动向和技术, 写一篇有关数控加工方面的论文。

1.1.4 课堂小结

通过本次课的教学, 学生必须明确什么是数控, 什么是数控机床。

通过与普通机床的比较, 得出数控机床的特点及加工对象。在理解的基础上牢记数控机床的组成及分类。

任务 1.2 计算机数控系统的工作流程

1.2.1 实训目的

- (1) 了解 CNC 装置的组成, 熟悉 CNC 装置的工作流程。

- (2) 掌握插补的概念，熟悉逐点比较法中的直线插补原理。
- (3) 重点难点：刀具补偿原理及直线插补原理。

1.2.2 实训指导

1.2.2.1 计算机数控系统的组成

计算机数控系统 (Computer Numerical Control) 由零件加工程序，输入输出设备，计算机数字控制装置，可程序控制器，主轴驱动装置和进给驱动装置等组成，如图 1.8 所示。

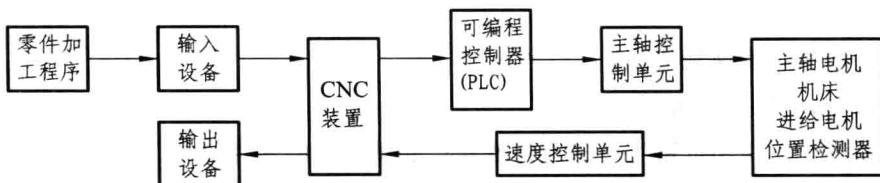


图 1.8 计算机数控系统

1.2.2.2 计算机数控系统的工作过程

1. CNC 装置的组成

CNC 装置由硬件和软件组成。软件包括管理软件和控制软件两大类。管理软件由输入输出程序、I/O 处理程序、显示程序和诊断程序等组成。控制软件由译码程序、刀具补偿计算程序、速度控制程序、插补运算程序和位置控制程序等组成，如图 1.9 所示。

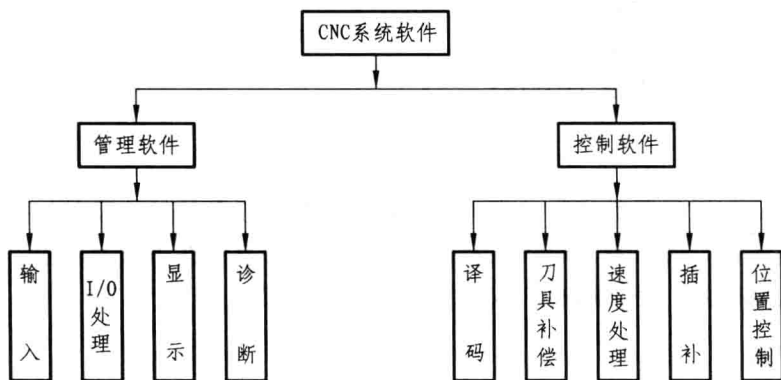


图 1.9 CNC 装置的软件结构

- (1) 微处理器 (CPU) 负责运算及对整个系统进行控制和管理。
- (2) 可编程只读存储器 (EPROM) 和随机存储器 (RAM) 用于储存系统软件和零件加工程序以及运算的中间结果等。
- (3) 输入输出接口供系统与外部进行信息交换。
- (4) MDI/CRT 接口完成手动数据输入并将信息显示在 CRT 上。
- (5) 位置控制部分是 CNC 装置的重要组成部分，它通过速度控制单元，驱使进给电机输出功率和扭矩，实现进给运动如图 1.10 所示为 CNC 装置的硬件结构。

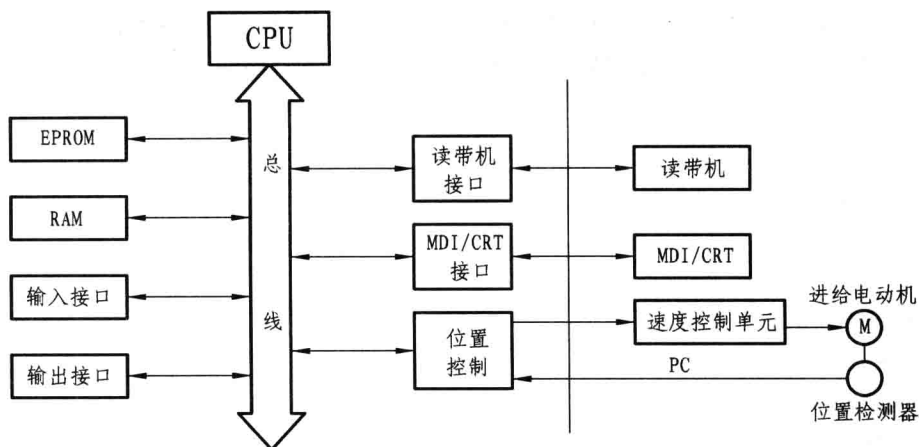


图 1.10 CNC 装置的硬件结构

2. CNC 装置的工作过程

CNC 装置的工作过程如图 1.11 所示。

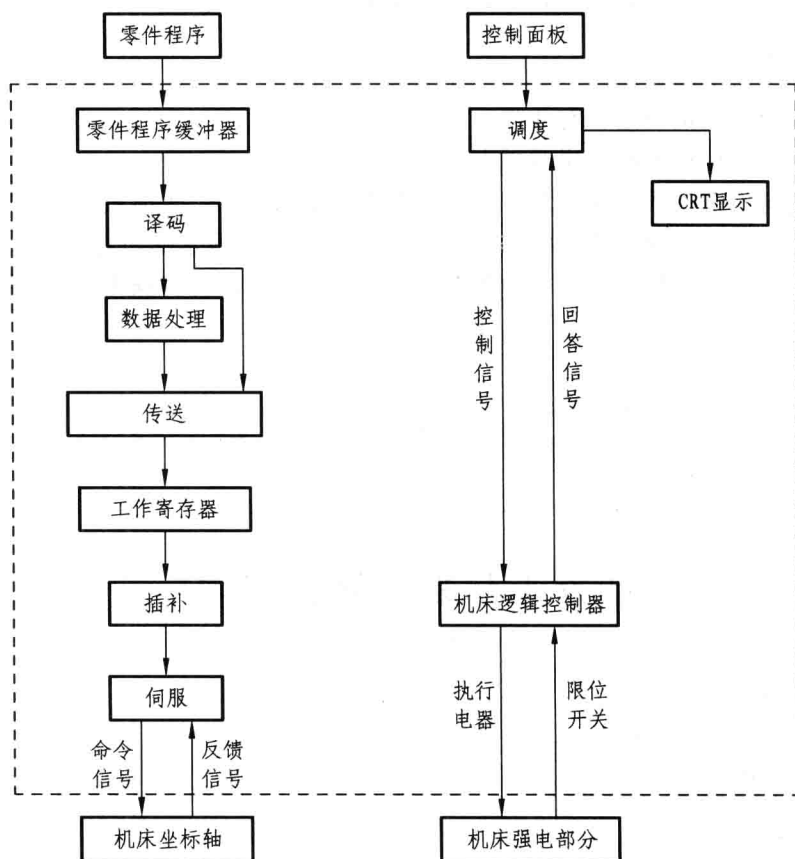


图 1.11 CNC 装置的工作过程

3. CNC 装置可执行的功能

(1) CNC 装置中使用了计算机，用存放在存储器中的软件来实现部分或全部数控功能。

(2) CNC 装置的功能一般包括基本功能和选择功能。基本功能是 CNC 系统必备的数控功能,选择功能是供用户根据机床特点和工作途径进行选择的功能。

- ① 控制功能;
- ② 准备功能;
- ③ 插补功能;
- ④ 进给功能;
- ⑤ 刀具功能;
- ⑥ 主轴功能;
- ⑦ 辅助功能;
- ⑧ 字符显示功能;
- ⑨ 自诊断功能;
- ⑩ 补偿功能及固定循环功能。

1.2.3 操作练习

参照机床的操作说明书,熟悉各功能键的使用方法。

1.2.4 注意事项

- (1) 机床启动时要检查是否有故障。
- (2) 操作时要严格按照操作说明书上的操作顺序进行。
- (3) 红色的急停键不要輕易按下,只有在出现异常情况下,才能按下此键。
- (4) 注意功能键操作时应处的状态,并观察 CRT 显示器显示的内容。
- (5) 操作过程中出现故障,应立即向指导教师反映,切忌盲目操作。

1.2.5 思考题

- (1) 写出各功能键的操作顺序。
- (2) 说出各功能键的含义及作用。
- (3) 完成实训报告。

任务 1.3 数控插补原理

1.3.1 实训目的

- (1) 掌握直线、圆弧插补原理。
- (2) 了解数字增量插补的原理。

1.3.2 实训指导

1.3.2.1 概述

1. 插补的基本概念

按规定的函数曲线或直线,对其起点和终点之间,按照一定的方法进行数据点的密化计

算和填充,并给出相应的位移量,使其实际轨迹和理论轨迹之间的误差小于一个脉冲当量,这个过程称为插补。

2. 插补方法的分类

1) 脉冲增量插补

(1) 脉冲增量插补亦称行程增量插补,它适应于以步进电机为驱动装置的开环数控系统。

(2) 这种插补的实现方法较简单,只需进行加法和移位就能完成插补。

(3) 易用硬件实现,且运算速度很快。因此,脉冲增量插补算法只适合于一些中等精度(0.01 mm)和中等速度(1~3 m/min)的机床控制。

2) 数字增量插补

第一步是粗插补,即在给定起点和终点的曲线之间插入若干点,用若干条微小直线段来逼近给定曲线,每一微小直线段的长度 ΔL 相等,且与给定的进给速度有关。每一微小直线段的长度 ΔL 与进给速度 F 和插补周期 T 有关,即 $\Delta L = FT$ 。粗插补的特点是把给定的一条曲线用一组直线段来逼近。

第二步为精插补,它是在粗插补时算出的每一微小直线段上再做“数据点的密化”工作,这一步相当于对直线的脉冲增量插补,这种插补算法可以实现高速、高精度控制,因此适于以直流伺服电机或交流电机为驱动装置的半闭环或闭环数控系统。

1.3.2.2 逐点比较法

逐点比较法的基本原理是:计算机在控制加工轨迹的过程中,每走一步都要和规定的轨迹相比较,由比较结果决定下一步的移动方向。逐点比较法既可以做直线插补又可以做圆弧插补。

逐点比较法的特点是:运算直观,插补误差小于一个脉冲当量,输出脉冲均匀,而且输出脉冲的速度变化小,调节方便,因此在两坐标数控机床中应用较为普遍,这种方法每控制机床坐标进给一步,都要完成四个工作节拍。逐点比较法的四个工作节拍是:

- (1) 第一个节拍——偏差判别。
- (2) 第二个节拍——坐标进给。
- (3) 第三个节拍——偏差计算。
- (4) 第四个节拍——终点判别。

1.3.2.3 直线插补

- (1) 进行偏差计算。

以第一象限内为例。编程时,给出要加工直线的起点和终点。如果以直线的起点为坐标原点,终点坐标为 (X_e, Y_e) ,插补点坐标为 (X, Y) ,如图1.12所示,则以下关系成立:

若点 (X, Y) 在直线上,则: $X_e Y - Y_e X = 0$;

若点 (X, Y) 位于直线上方,则 $X_e Y - Y_e X > 0$;

若点 (X, Y) 位于直线下方,则 $X_e Y - Y_e X < 0$ 。

(2) 取偏差函数 $F = X_e Y - Y_e X$ 。使用判别函数可以判别当前点与直线相对位置。当点在直线上方时, $F > 0$,下一步向 $+X$ 方向运动。

(3) 当点在直线下方时, $F < 0$,下一步向 $+Y$ 方向运动。

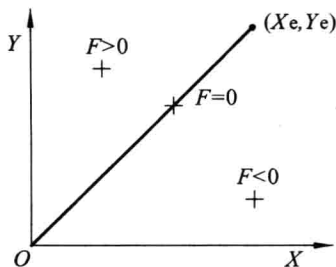


图 1.12

(4) 当点恰好位于直线上时, 为使运动继续下去, 将 $F=0$ 归入 $F>0$ 的情况, 继续向 $+X$ 方向运动。这样从原点出发, 走一步判别一次 F 再走一步, 所运动的轨迹总在直线附近, 并不断趋向终点。

到达终点的判别:

设点 (X_i, Y_i) 为当前所在位置, 其 $F = X_e Y_i - Y_e X_i$, 若沿 $+X$ 方向走一步, 则:

$$X_{i+1} = X_i + 1, Y_{i+1} = Y_i$$

$$F_{i+1} = X_e Y_{i+1} - Y_e X_{i+1} = X_e Y_i - Y_e (X_i + 1) = F_i - Y_e$$

若沿 $+Y$ 方向走一步, 则:

$$X_{i+1} = X_i, Y_{i+1} = Y_i + 1$$

$$F_{i+1} = X_e Y_{i+1} - Y_e X_{i+1} = X_e (Y_i + 1) - Y_e Y_i = F_i + X_e$$

由逐点比较法的特点, 插补运动总步数 $n = X_e + Y_e$, 利用 n 来判别是否到达终点。每走一步使 $n = n - 1$, 直至 $n = 0$ 为止, 如图 1.13 所示。

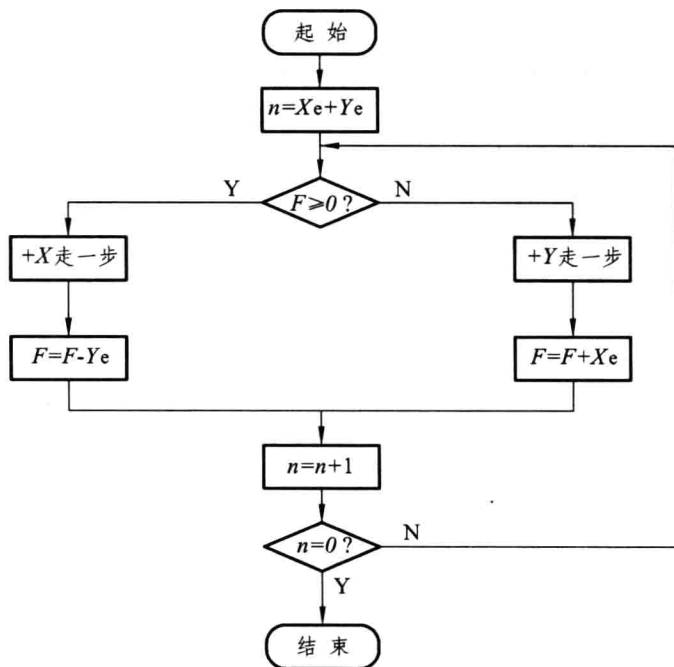


图 1.13

其他象限的直线插补偏差递推公式如下所示。

表 1.1、1.2 所示为直线插补公式。

表 1.1 直线插补公式 (坐标值带符号)

象 限	坐标进给		偏差计算	
	$F \geq 0$	$F < 0$	$F \geq 0$	$F < 0$
1	$+\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_{i+1} = F_i - Y_e$	$F_{i+1} = F_i + X_e$
2	$-\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_{i+1} = F_i - Y_e$	$F_{i+1} = F_i - X_e$
3	$-\Delta X$	$-\Delta Y$	$F_{i+1} = F_i + Y_e$	$F_{i+1} = F_i - X_e$
4	$+\Delta X$	$-\Delta Y$	$F_{i+1} = F_i + Y_e$	$F_{i+1} = F_i + X_e$

表 1.2 直线插补公式 (坐标值为绝对值)

象 限	坐标进给		偏差计算	
	$F \geq 0$	$F < 0$	$F \geq 0$	$F < 0$
1	$+\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_{i+1} = F_i - Y_e$	$F_{i+1} = F_i + X_e$
2	$-\Delta X$	$+\Delta Y$		
3	$-\Delta X$	$-\Delta Y$		
4	$+\Delta X$	$-\Delta Y$		

1.3.2.4 圆弧插补

逐点比较法中,通常以圆心为原点,根据圆弧起点与终点的坐标值来进行插补,如图 1.14 所示。

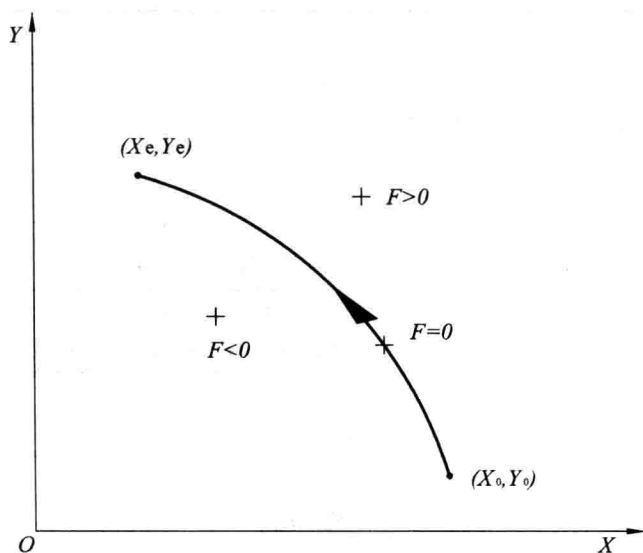


图 1.14

以第一象限逆圆为例,圆弧起点坐标为 (X_0, Y_0) ,终点坐标为 (X_e, Y_e) ,对于圆弧上

任一点 (X_i, Y_i) 有 $X_i^2 + Y_i^2 = R^2$ 。

令: $F = (X_i^2 + Y_i^2) - R^2$ 为偏差函数。

当 $F > 0$ 时, 该点在圆外, 向 $-X$ 方向运动一步;

当 $F < 0$ 时, 该点在圆弧内, 向 $+Y$ 方向运动一步;

将 $F = 0$ 归入 $F > 0$ 的情况, 插补运动始终沿着圆弧并向终点运动。与直线插补的判别类似, 圆弧插补的判别计算可采用如下的叠加运算。

设当前点 (X_i, Y_i) 对应的偏差函数为: $F_i = (X_i^2 + Y_i^2) - R^2$

当点沿 $-X$ 方向走一步后: $F_{i+1} = (X_i - 1)^2 + Y_i^2 - R^2 = F_i - 2X_i + 1$

当点沿 $+Y$ 方向走一步后: $F_{i+1} = X_i^2 + (Y_i + 1)^2 - R^2 = F_i + 2Y_i + 1$

终点判别可由 $n = |X_e - X_0| + |Y_e - Y_0|$ 判别, 每走一步使 $n = n - 1$, 直至 $n = 0$ 为止。其插补软件流程如图 1.15 所示。

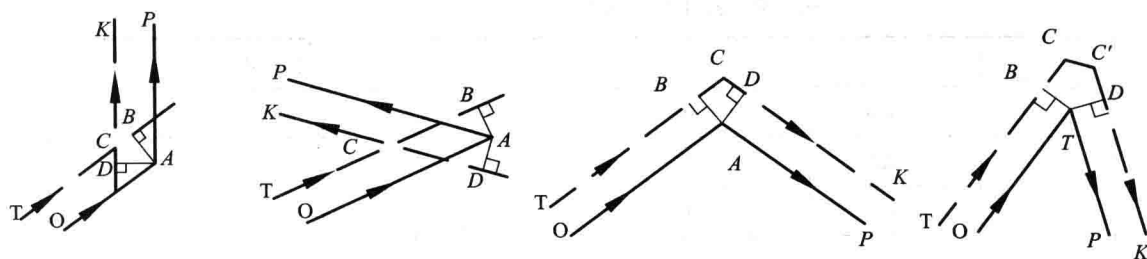


图 1.15

举例:

插补起点 $(X_0 = 4, Y_0 = 1)$ 至终点 $(X_e = 1, Y_e = 4)$ 的一段圆弧, 整个计算流程如表 1.3 所示, 插补轨迹如图 1.16 所示。

表 1.3 圆弧插补计算表

节拍	判别函数	进给方向	偏差与坐标计算	终点判别
起始	$F_0 = 0$		$X_0 = 4 \quad Y_0 = 1$	$n = X_e + Y_e = 6$
1	$F_0 = 0$	$-X$	$X_1 = 3 \quad Y_1 = 1$ $F_1 = F_0 - 2X_0 + 1 = -7$	$n = 6 - 1 = 5$
2	$F_1 = -7 < 0$	$+Y$	$X_2 = 3 \quad Y_2 = 2$ $F_2 = F_1 + 2Y_1 + 1 = -4$	$n = 5 - 1 = 4$
3	$F_2 = -4 < 0$	$+Y$	$X_3 = 3 \quad Y_3 = 3$ $F_3 = F_2 + 2Y_2 + 1 = 1$	$n = 4 - 1 = 3$
4	$F_3 = 1 > 0$	$-X$	$X_4 = 2 \quad Y_4 = 3$ $F_4 = F_3 - 2X_3 + 1 = -4$	$n = 3 - 1 = 2$
5	$F_4 = -4 < 0$	$+Y$	$X_5 = 2 \quad Y_5 = 4$ $F_5 = F_4 + 2Y_4 + 1 = 3$	$n = 2 - 1 = 1$
6	$F_5 = 3 > 0$	$-X$	$X_6 = 1 \quad Y_6 = 4$ $F_6 = F_5 - 2X_5 + 1 = 0$	$n = 1 - 1 = 0$