



21世纪高等院校规划教材

数控技术

主编◎吴 祥

NC Technique



59

8927

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等院校规划教材

数 控 技 术

吴 祥 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以数控机床为主线,比较全面、系统地介绍了数控技术的有关内容。全书共分八章,主要包括:数控技术的概念,数控机床的特点、分类和应用,数控编程基础,数控加工程序的编制,计算机数控装置,数控装置的轨迹控制原理,数控机床的伺服系统,数控机床的机械结构,数控技术的发展与机械加工自动化等。本书选材从培养人才的目的出发系统地介绍了数控技术方面的基本知识,重点突出数控编程、数控原理和数控应用。本书内容丰富,详略得当,既注重先进性又考虑实用性,既有理论又有实例。为了便于学生自学及巩固所学内容,各章的后面均附有思考题与习题。

本书可作为高等院校机械类专业本科生的教材,也可作为高等职业技术教育类学生的专业教材,亦可作为从事计算机数控技术工作的工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/吴祥主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2341 - 6

I. 数… II. 吴… III. 数控机床 - 高等学校 - 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 097952 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 307 千字

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 26.00 元

责任校对 / 申玉琴

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

数控技术是现代制造技术的基础，综合了计算机技术、自动控制技术、自动检测技术和精密机械等高新技术。它的广泛应用使普通机械被数控机械所代替，特别是数控机床的出现及所带来的巨大效益，引起了世界各国科技界和工业界的普遍重视。数控技术的水准，数控机床的拥有和普及程度，已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。因此，为适应这种形势，需要培养大批熟练掌握数控技术的工程技术人员。

为了适应数控技术和国民经济发展的需要，以及高等工科院校的教学要求，我们编写了《数控技术》一书。编写中在重视系统基础知识的同时，重点着眼于国内外数控技术的新发展和新成果，力求反映数控技术和数控机床的系统的基本知识、核心技术与最新技术成就，并兼顾到理论与实际的联系，取材和叙述上力求层次分明和合理，叙述简练，便于教学。本书注重内容的先进性、科学性、系统性和实用性，既简要介绍了当今世界的先进技术及其发展方向，又详细叙述了数控技术的基本理论和方法，根据人才培养计划和教学的需要，全书内容、实例主要来源于工程实际，选材典型、实用、新颖，以数控技术的应用为主，力求内容的实用性。

本书可作为高等学校机械类和机电类专业学生的教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书由吴祥任主编，查文炜任副主编。吴祥编写了第一章、第二章、第三章、第七章和第八章，查文炜编写了第四章、第五章和第六章，吴乃领和邱亚兰参加了部分章节的编写和整理工作。全书由吴祥负责统稿和定稿。

本书由周海主审。

由于编者水平有限，经验不足，书中难免有缺点或错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 数控机床的组成和分类	(2)
第三节 数控机床的特点及适用范围	(6)
思考题与习题	(8)
第二章 数控加工编程基础	(9)
第一节 概述	(9)
第二节 编程的基础知识	(11)
第三节 常用准备功能指令的编程方法	(23)
第四节 数控编程的工艺处理	(32)
第五节 程序编制中的数值计算	(36)
思考题与习题	(41)
第三章 数控加工程序的编制	(43)
第一节 数控车床的程序编制	(43)
第二节 数控铣床与加工中心的程序编制	(48)
第三节 自动编程简介	(62)
思考题与习题	(68)
第四章 计算机数控装置	(70)
第一节 概述	(70)
第二节 CNC 装置的硬件结构	(75)
第三节 CNC 装置的软件结构	(80)
第四节 数控机床用 PLC	(84)
思考题与习题	(88)
第五章 数控装置的轨迹控制原理	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 插补原理	(90)
第三节 刀具补偿原理	(109)
思考题与习题	(120)

第六章 数控机床的伺服系统	(122)
第一节 概述	(122)
第二节 开环步进伺服系统	(125)
第三节 数控机床的位置检测装置	(137)
第四节 闭环伺服系统	(149)
思考题与习题	(160)
第七章 数控机床的机械结构	(162)
第一节 数控机床对机械结构的要求	(162)
第二节 数控机床的布局特点	(165)
第三节 数控机床的主运动部件	(168)
第四节 数控机床的进给运动系统	(172)
第五节 数控机床的自动换刀装置	(182)
思考题与习题	(192)
第八章 数控技术的发展与机械制造自动化	(193)
第一节 数控机床的发展趋向	(193)
第二节 先进制造技术简介	(196)
思考题与习题	(203)
参考文献	(204)

第一章

概 论

第一节 概 述

一、数控技术的基本概念

数字控制技术,简称数控(Numerical Control, NC),是一种自动控制技术。它是利用数字化的信息对机床运动及加工过程进行控制的一种方法。用数控技术实施加工控制的机床,或者说装备了数控系统的机床就称为数控(NC)机床。

数控系统是一种控制系统,它能自动完成信息的输入、译码、运算,从而控制机床的运动及加工过程。数控系统一般包括数控装置、可编程序控制器、主轴与进给伺服驱动装置等部分。

自从1952年世界上第一台三坐标数控铣床诞生以来,数控机床在制造业中得到了越来越广泛的应用。数控系统无论在硬件或软件方面,发展和更新的速度都很快,已经经历了许多代。目前,在市场上已见不到传统的硬件数控机床,取而代之的是计算机数控机床。计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC)也是一种数控系统。在这个系统中,采用专用或通用的计算机为主实现部分或全部数控功能。计算机数控是数控的新的发展阶段。目前所说的数控,一般均指计算机数控。

数控机床是一种灵活、通用、高效、具有柔性的自动化机床。它综合应用了计算机技术、微电子技术、自动控制技术、检测技术和机械技术等多方面的最新技术成果。是一种典型的机电一体化产品,也是一种典型的高新技术产品。

二、数控机床的工作过程

数控机床加工零件时,首先应编制零件的加工程序,这是数控机床的工作指令。然后将加工程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停,进给运动的方向、速度和位移量,以及其他如刀具的选择、交换,工件的夹紧、松开和切削液的开关等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作,从而加工出符合要求的零件。

第二节 数控机床的组成和分类

一、数控机床的组成

数控机床一般由输入输出设备、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床本体组成，见图 1-1。

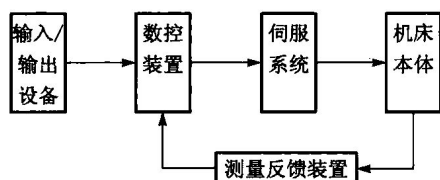


图 1-1 数控机床的组成框图

1. 输入/输出设备

输入/输出设备主要实现程序编制、程序和数据的输入以及显示、存储和打印。这一部分的硬件配置视需要而定，功能简单的机床可能只配有键盘和发光二极管（LED）显示器；功能一般的机床则可能加上磁带和磁盘读入器、人机对话编程操作键盘和视频信

号显示器（CRT）；功能较强的机床可能还包含有一套自动编程系统或计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM）系统。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。它接受来自输入设备的程序和数据，并按输入信息的要求完成数值计算、逻辑判断和输入输出控制等功能。现代数控机床都采用计算机数控装置，即 CNC 装置。它通常是由一台专用计算机或通用计算机与各种输入输出接口以及机床控制器（可编程控制器 PMC）等硬件和相应的软件所组成的控制装置。机床控制器（PMC）的主要作用是实现对机床辅助功能 M、主轴转速功能 S 和刀具功能 T 的控制。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行部件，它接受来自数控装置的指令，驱动机床执行机构运动（如主轴驱动、进给驱动）。伺服系统一般包括伺服控制电路、功率放大线路和伺服电机等。伺服电机常用的有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机。一般来说，数控机床的伺服驱动，要求有好的快速响应性能，能灵敏而准确地跟踪由数控装置发出的指令信号。伺服系统的性能是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的主要因数。

4. 测量反馈装置

测量反馈装置由测量元件和相应的测量电路组成，其作用是检测运动部件的速度和位移，并将信息反馈给数控装置，构成闭环控制系统。没有测量反馈装置的系统称为开环控制系统。

常用的测量元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁栅等。

5. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，是用于完成各种切削加工的机械部分。它包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。机床本体是被控制的对象，其运动的位移和速度以及各种开关量是被控制的。数控机床的本体与普通机床的组成基本相似，但与普通机床相比，在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操纵机构等方面都已发生了很大的变化，例如，数控机床广泛采用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。

为了保证数控机床功能的充分发挥,还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置)和辅助装置(程编机和对刀仪等)。

二、数控机床的分类

数控机床品种繁多、功能各异,可以从不同的角度对其进行分类。

1. 按机械加工的运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床。点位控制是指刀具从某一位置移动到下一个位置的过程中,不考虑其运动轨迹,只要求刀具能最终准确到达目标位置的控制方式。这类数控机床的特点是,刀具在移动和定位过程中不进行切削加工,对移动速度及运动轨迹没有严格要求,一般采用快速运动。刀具的移动过程可以先沿一个坐标方向移动,再沿另一个坐标方向移动,也可沿两个坐标同时移动。为保证定位精度和减少移动时间,一般采用先高速运行,当接近目标位置时,再分级降速,慢速趋进目标位置。典型的点位控制数控钻床加工示意如图 1-2 (a) 所示。

这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

(2) 直线控制数控机床。这类数控机床不仅要保证点与点之间的准确定位,而且要控制两相关点之间的位移速度和路线。其轨迹一般由与各坐标轴平行的直线段或与坐标轴成 45° 的斜线组成,但不能形成任意斜率的直线轨迹。由于刀具在移动过程中要切削,所以对于不同的刀具和工件,需要选用不同的切削用量和进给量。点位直线控制数控机床加工示意如图 1-2 (b) 所示。

这类数控机床主要有:简易数控车床和简易数控铣床等。这些数控机床在一般情况下,有两到三个可控坐标轴,但同时控制的只有一个坐标轴。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制又称连续控制、轨迹控制。这类数控机床能够同时控制两个或两个以上的坐标轴,对机床移动部件在加工过程中每一点的位置和速度进行严格的不间断控制。也就是说,能够控制刀具的移动轨迹,将工件加工成一定的轮廓形状。该类机床可加工出由任意曲线或曲面组成的复杂形状的零件。轮廓控制数控机床加工示意如图 1-2 (c) 所示。

这类数控机床主要有:数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

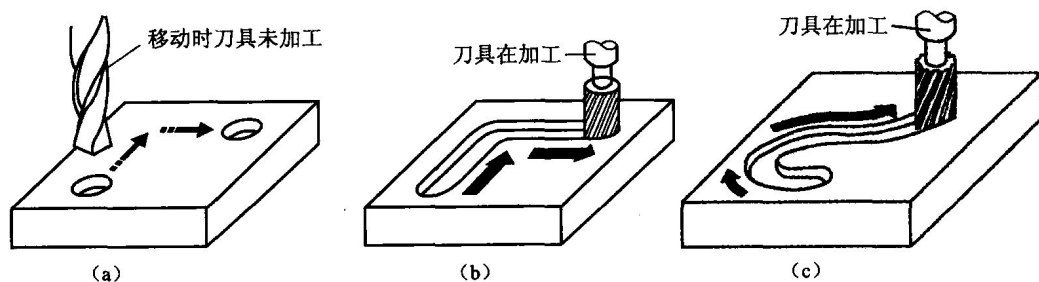


图 1-2 点位、直线和轮廓控制数控机床加工示意图

(a) 点位控制数控机床加工; (b) 点位直线控制数控机床加工; (c) 轮廓控制数控机床加工

由于计算机硬件和软件技术的迅速发展,数控装置的体积和价格在不断下降,而功能在不断增加和完善。如增加轮廓控制功能,则只需增加插补软件,几乎不带来硬件成本的提

高。因此，除了少数专用的数控机床，如数控钻床、冲床等以外，现代数控机床一般都具有两坐标或两坐标以上联动控制的轮廓控制功能。

可联动控制坐标数（轴数）是指数控机床能同时控制的，按加工要求协调运动的坐标（轴）的数量。

2. 按伺服系统的控制原理分类

（1）开环控制的数控机床。这类数控机床不带有位置检测装置，数控装置将零件程序处理后，输出脉冲指令信号给伺服系统，驱动机床运动。控制信号的流程是单向的。如图 1-3 所示。

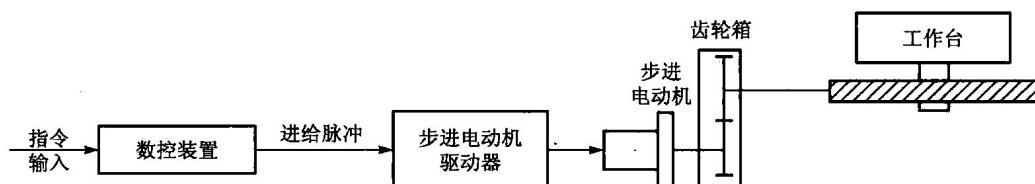


图 1-3 开环控制系统框图

这类数控机床的伺服驱动部件通常选用步进电机。受步进电机的步距精度和工作频率以及传动机构的传动精度的影响，开环控制的数控机床的速度和精度都较低。但由于其结构简单、成本较低、调试维修方便等优点，所以仍被广泛应用于精度要求不高的中小型数控机床和经济型数控机床。

（2）闭环控制的数控机床。这类机床带有检测装置，它随时接受在工作台端测得的实际位置反馈信号，将其与数控装置发来的指令位置信号相比较，由其差值控制进给轴运动，直到差值为零时，进给轴停止运动。

图 1-4 为闭环控制的数控机床的原理框图。安装在工作台上的位置传感器（比如光栅）把机械位移转变为电量，反馈到位置比较电路与指令位置值相比较，得到的差值经过放大和变换，驱动工作台向减少误差的方向移动。如果不断有指令信号输入，那么工作台就不断地跟随信号移动，只有在指令信号与反馈信号的差值为零时，工作台才静止，即工作台的实际位移量与指令位移量相等时，工作台才停止运动。在闭环系统中还装有增加系统阻尼的速度测量元件，将实际速度与进给速度相比较，并通过速度控制电路对电机运动状态随时进行校正，从而减少因负载等因素变动而引起的进给速度波动，提高位置控制的质量。因为机床工作台也被纳入了控制环，所以这类数控机床称为闭环控制的数控机床。

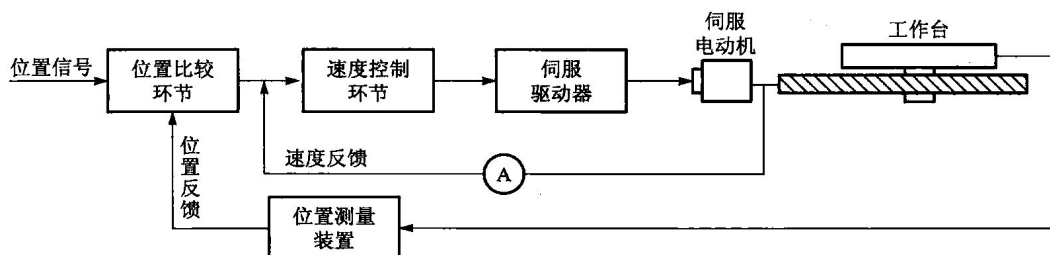


图 1-4 闭环控制系统框图

闭环控制可以消除包括工作台传动链带在内的误差,从而定位精度高、速度调节快,但由于工作台惯量大,给系统的设计和调整带来很大的困难,主要是系统的稳定性受到不利影响。

闭环控制系统主要用于一些精度要求很高的数控机床,如精密镗铣床、超精车床和超精铣床等。

(3) 半闭环控制的数控机床。半闭环控制的数控机床与闭环控制的数控机床的区别在于检测反馈信号不是来自工作台,而是来自电机端或丝杠端连接的测量元件,如图 1-5 所示。实际位置的反馈值是通过间接测得的伺服电机的角位移算出来的,因而控制精度没有闭环高,但机床工作的稳定性却由于大惯量工作台被排除在控制环外而提高,调试方便,因而广泛用于数控机床中。

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应用。目前已经把角位移测量元件与伺服电动机设计成一个部件,使用起来十分方便。半闭环伺服系统的加工精度虽然没有闭环系统高,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。系统调试比闭环系统方便,稳定性好,成本也比闭环系统低,目前,大多数数控机床采用半闭环伺服系统。

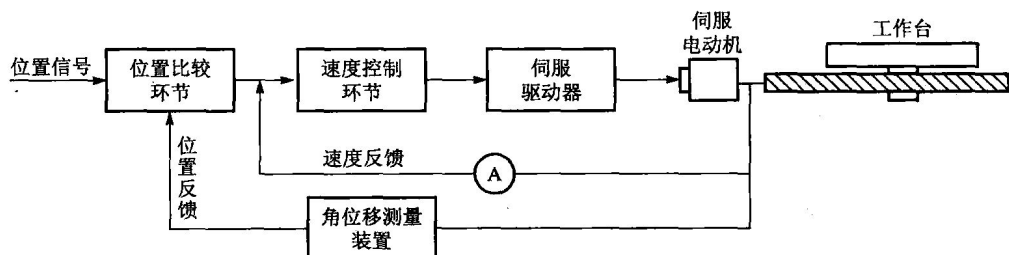


图 1-5 半闭环控制系统框图

3. 按数控装置的功能水平分类

数控机床按所使用的数控系统的配置及功能水平分类,可分为高级型、普通型和经济型数控机床三类,也称为高、中、低档三类。对每一种数控机床的分类主要看其内涵,即主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平。这种分类的界限是相对的,不同时期的划分标准会有所不同。就目前的水平来看,可划分如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床的功能水平分类

类型	主控机	进给	联动轴数	进给分辨率/ μm	进给速度/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	自动化程度
高级型	32 位微处理器	交流伺服驱动	3-5 轴	0.1	≥ 24	具有通信、联网、监控管理功能
普及型	16 位或 32 位微处理器	交流或直流伺服驱动	3-5 轴	1	≤ 24	具有人机对话接口
经济型	单板机单片机	步进电机	2 轴	10	6~8	功能较简单

我国习惯上所说的经济型数控,一般是指采用以单板机或单片机为主的数控装置,以步进电机为主的开环伺服驱动系统,功能比较简单,价格比较低廉的低档数控,主要用于车床、线切割机床以及旧机床的改造等。

4. 按数控机床的工艺用途分类

(1) 金属切削类。指采用车、铣、镗、磨等各种切削工艺的数控机床。它又可分为两类:

1) 普通数控机床。如数控车床、数控铣床、数控磨床等。

2) 加工中心机床。这是一种可自动换刀的数控机床。它是在普通数控机床的基础上加装一个刀具库和自动换刀装置而构成的数控机床,简称加工中心。它的特点是,工件经一次装夹后,数控装置能控制机床自动地更换刀具,连续地对工件各加工面进行铣(车)、镗、钻、铰、攻螺纹等多工序的加工。

目前的加工中心多数是以铣镗床为基础构成的铣钻镗加工中心,另外还有车削加工中心、钻削加工中心、磨削加工中心等。

(2) 金属成型类。指采用挤、冲、压、拉等各种成型工艺的数控机床。常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类。主要有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控火焰切割机、数控激光加工机床等。

(4) 其他类。近年来,许多非加工设备也采用了数控技术,如数控多坐标测量机、数控绘图机、工业机器人等。

第三节 数控机床的特点及适用范围

一、数控机床的特点

与其他加工设备相比,数控机床具有如下特点。

1. 加工零件的适应性强、灵活性好

数控机床能完成很多普通机床难以胜任,或者根本不可能加工出来的复杂型面的零件加工。这是由于数控机床具有多坐标联动功能,并按零件加工的要求变换加工程序。因此,数控机床首先在航空航天等领域获得应用,在复杂曲面的模具加工、螺旋桨及涡轮叶片等的加工中,也得到了广泛的应用。

2. 加工精度高、产品质量稳定

由于数控机床按照预定的程序自动加工,不受人为因素的影响,其加工精度由机床来保证,还可利用软件来校正和补偿误差。因此,能获得比机床本身精度还要高的加工精度及重复精度。

3. 生产率高

数控机床的生产率较普通机床的生产率高2~3倍。尤其是某些复杂零件的加工,生产率可提高十几倍甚至几十倍。这是因为数控机床加工能合理选用切削用量,机加工时间短。又由于其定位精度高,停机检测次数减少,加工准备时间也因采用通用工夹具而大大缩短。

4. 自动化程度高,劳动强度低

数控机床主要是自动加工,能自动换刀、起停冷却液、自动变速等,其大部分操作不需

人工完成，因而改善了劳动条件。由于操作失误减少，也降低了废品、次品率。

5. 生产管理水平高

在数控机床上加工，能准确地计算零件加工时间，加强了零件的计时性，便于实现生产计划调度，简化和减少了检验、工夹具准备、半成品调度等管理工作。数控机床具有的通信接口，可实现计算机之间的连接，组成工业局部网络（LAN），采用制造自动化协议（MAP）规范，实现生产过程的计算机管理与控制。

6. 初始投资较大，操作、维修、管理较困难

数控机床是一种高新技术密集的设备，因此其价格较高，初始投资较大。但由于其生产效率高，故使用数控机床的经济效益还是很好的。

数控机床采用计算机控制，伺服系统的技术复杂，机床精度要求很高。因此，数控机床的使用不是简单的设备使用问题，而是一项技术应用工程。这就要求数控机床的操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和技术素质。

二、数控机床的适用范围

数控机床是一种高度自动化的机床。有一般机床所不具备的许多优点。所以数控机床的应用范围在不断扩大。但数控机床技术复杂，目前设备费用较高，故有其一定的适用范围。一般来说，数控机床特别适用于被加工零件形状比较复杂，精度要求高的场合，以及产品更新频繁，生产周期要求短的场合。

数控机床的适用范围见图 1-6。

图 1-6 (a) 所示为随零件复杂程度和零件批量的变化，通用机床、专用机床和数控机床的适用范围的变化情况。图 1-6 (a) 中定性地说明，当零件不太复杂，生产批量较小时，宜采用通用机床；当生产批量很大时，宜采用专用机床；而当零件复杂程度较高时，宜采用数控机床。现在，随着数控机床的普及，使用范围正向复杂性较低的范围扩大。另外，随着经济型数控机床的迅速发展，许多通用和专用机床也逐渐数控化，而且发展迅速。图 1-6 (b) 所示为随着生产批量不同，采用通用机床、专用机床或数控机床加工时，生产成本的比较。可见，在多品种、小批量生产情况下，使用数控机床能获得较高的经济效益。

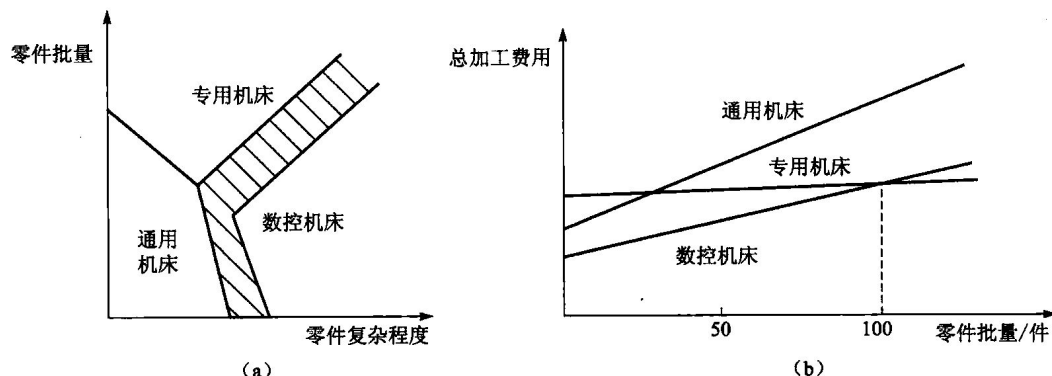


图 1-6 数控机床的适用范围
(a) 适用范围变化情况；(b) 生产成本的比较

由此可见，数控机床最适宜加工以下类型的零件：

- 1) 生产批量小的零件 (100 件以下);
- 2) 需要进行多次改型设计的零件;
- 3) 加工精度要求高、结构形状复杂的零件;
- 4) 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件;
- 5) 价值昂贵的零件, 这种零件虽然生产量不大, 但是如果加工中因出现差错而报废, 将产生巨大的经济损失。

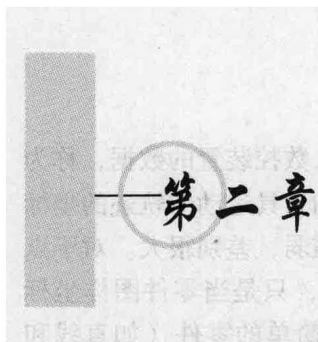
现在, 由于机械加工劳动力费用的不断增加, 数控机床的自动化加工可减少操作工人 (中小型数控机床可实现一人看管多台), 因此, 大批量生产的零件采用数控机床 (特别是经济型数控机床) 加工, 在经济上也是可行的。

广泛使用数控机床的最大障碍是设备的初始投资大, 另外, 由于系统本身的复杂性, 增加了维修和管理的技术难度与费用。

综上所述, 在选用数控机床时, 需要进行科学的技术经济分析, 使数控机床能发挥它的最大经济效益。

思考题与习题

- 1-1 什么是数控技术、数控机床、数控系统、计算机数控系统?
- 1-2 数控机床由哪几部分组成? 各部分的基本功能是什么?
- 1-3 什么是点位控制、直线控制、轮廓控制数控机床? 三者有何区别?
- 1-4 按伺服系统的控制原理分类, 分为哪几类数控机床? 各有何特点?
- 1-5 数控机床有哪些特点?
- 1-6 数控机床适合加工什么样的零件?



数控加工编程基础

第一节 概 述

一、数控编程的基本概念

数控加工，是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。在数控机床上加工零件时，首先要根据零件图样，按规定的代码及程序格式将零件加工的全部工艺过程、工艺参数、位移数据和方向以及操作步骤等以数字信息的形式记录在控制介质上（如穿孔带、磁带等），然后输入给数控装置，从而指挥数控机床加工。

我们将从零件图样到制成控制介质的全部过程称为数控加工的程序编制，简称数控编程。使用数控机床加工零件时，程序编制是一项重要的工作。迅速、正确而经济地完成程序编制工作。对于有效地利用数控机床是具有决定意义的一个环节。

二、数控编程的内容和步骤

数控编程的内容主要包括：分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序、制作控制介质、程序校验和试切削等。

数控编程的步骤一般如图 2-1 所示。具体过程如下：

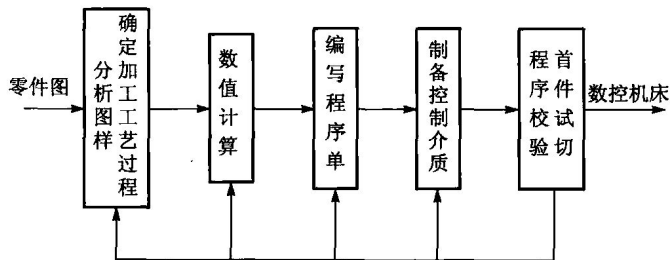


图 2-1 数控编程的步骤

1. 确定工艺过程

在确定加工工艺过程时，编程人员要根据零件图样进行工艺分析，然后选择加工方案，确定加工顺序、加工路线、装卡方式、刀具、工装以及切削用量等工艺参数。这些工作与普通机床加工零件时工艺规程的编制基本上是相似的，但也有自身的一些特点。要考虑所用数

控机床的指令功能，充分发挥数控机床的效能。

2. 数值计算

按已确定的加工路线和允许的零件加工误差，计算出所需的输入数控装置的数据，称为数值计算。数值计算的主要内容是在规定的坐标系内计算零件轮廓和刀具运动的轨迹的坐标值。数值计算的复杂程度取决于零件的复杂程度和数控装置功能的强弱，差别很大。对于点位控制的数控机床（如数控冲床等）加工的零件，一般不需要计算，只是当零件图样坐标系与编程坐标系不一致时，才需要对坐标进行换算。对于形状比较简单的零件（如直线和圆弧组成的零件）的轮廓加工，需要计算出几何元素的起点、终点、圆弧和圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值，有的还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件（如非圆曲线、曲面组成的零件）的轮廓加工，需要用直线段或圆弧段逼近，根据要求的精度计算出其节点坐标值。这种情况一般要用计算机来完成数值计算的工作。

3. 编写零件加工程序单

加工路线、工艺参数及刀具运动轨迹的坐标值确定以后，编程人员可以根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式，逐段编写加工程序单。此外，还应填写有关的工艺文件，如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、数控刀具明细表等。

4. 制备控制介质

制备控制介质就是把编制好的程序单上的内容记录在控制介质上作为数控装置的输入信息。控制介质的类型因数控装置而异。也可直接通过数控装置上的键盘将程序输入存储器。

5. 程序校验和试切削

程序单和制备好的控制介质必须经过校验和试切削才能用于正式加工。一般采用空走刀校验、空运转画图校验以检查机床运动轨迹与动作的正确性。在具有图形显示功能和动态模拟功能的数控机床上，用图形模拟刀具与工件切削的方法进行检验更为方便。但这些方法只能检验出运动是否正确，不能检查被加工零件的加工精度。因此，还要进行零件的试切削。当发现有加工误差时，应分析误差产生的原因，采取措施加以纠正。

从以上内容来看，作为一名编程人员，不但要熟悉数控机床的结构、数控系统的功能及有关标准，而且还必须是一名好的工艺人员，要熟悉零件的加工工艺、装卡方法、刀具、切削用量的选择等方面的知识。

三、数控编程的方法

数控编程的方法有两种：手工编程和自动编程。

1. 手工编程

用人工完成程序编制的全部工作（包括用通用计算机辅助进行数值计算）称为手工编程。

对于几何形状较为简单的零件，数值计算较简单。程序段不多，采用手工编程较容易完成，而且经济、及时。因此，在点位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中，手工编程仍广泛使用。但对于形状复杂的零件，特别是具有非圆曲线、列表曲线或曲面的零件，用手工编程就有一定的困难，出错的可能增大，效率低，有时甚至无法编出程序。因此必须采用自动编程的方法编制程序。

2. 自动编程

自动编程也称计算机辅助编程,即程序编制工作的大部分或全部由计算机来完成。如完成坐标值计算、编写零件加工程序单、自动地输出打印加工程序单和制备控制介质等。自动编程方法减轻了编程人员的劳动强度,缩短了编程时间,提高了编程质量,同时解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。工件表面形状愈复杂,工艺过程愈繁琐,自动编程的优势愈明显。

自动编程的方法种类很多,发展也很迅速。根据编程信息的输入和计算机对信息的处理方式的不同,可以分为以自动编程语言为基础的自动编程方法(简称语言式自动编程)和以计算机绘图为基础的自动编程方法(简称图形交互式自动编程)。

第二节 编程的基础知识

一、零件加工程序的结构

1. 程序的构成

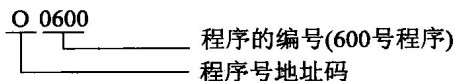
一个完整的零件加工程序由程序号(名)和若干个程序段组成,每个程序段由若干个指令字组成,每个指令字又由字母、数字、符号组成。例如:

```
O0600
N0010 G92 X0 Y0 ;
N0020 G90 G00 X50 Y60 ;
N0030 G01 X10 Y50 F150 S300 T12 M03 ;
```

... ..

```
N0100 G00 X-50 Y-60 M02 ;
```

上面是一个完整的零件加工程序。它由一个程序号和10个程序段组成。最前面的“O0600”是整个程序的程序号,也叫程序名。每一个独立的程序都应有程序号。它可作为识别,调用该程序的标志。程序号的格式为



不同的数控系统,程序号地址码所用的字符可不相同。如FANUC系统用O, AB8400系统用P, 而Sinumerik8M系统则用%作为程序号的地址码。编程时一定要根据说明书的规定使用,否则系统是不会接受的。

每个程序段以程序段号“N××××”开头,用;表示结束(还有的系统用LF、CR、EOB等符号),每个程序段中有若干个指令字,每个指令字表示一种功能。一个程序段表示一个完整的加工工步或动作。

一个程序的最大长度取决于数控系统中零件程序存储区的容量。现代数控系统的存储区容量已足够大,一般情况下已足够使用。一个程序段的字符数也有一定的限制。如某些数控系统规定一个程序段的字符数 ≤ 90 个,一旦大于限定的字符数时,应把它分成两个或多个程序段。