

普通高等教育机电类规划教材

数控技术

朱晓春 主 编
任 皓 副主编
吴 祥



机械工业出版社
China Machine Press

本书着重叙述了数控编程的基础及方法、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等方面的内容,同时还叙述了数控技术的基本概念、数控机床的机械结构、数控机床的故障诊断以及数控技术的发展等。本书介绍了数控技术的内容,重点突出,且全面、系统。全书注重理论联系实际,各章既有联系,又有一定的独立性。每章均附有思考题与习题。

本书为高等学校机电类专业本科生的教材,也可供研究设计单位、企业从事数控技术开发与应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/朱晓春主编. —北京:机械工业出版社, 2001. 5
普通高等教育机电类规划教材
ISBN 7-111-08788-7

I. 数… V. 朱… 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(2001)第 08440 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:王世刚 版式设计:霍永明 责任校对:孙志筠
封面设计:姚 毅 责任印制:路 琳
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷
1000mm×1400mmB5·8.375 印张·323 千字
0 001—4 000 册
定价:21.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677—2527

普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主任委员：邱坤荣

副主任委员：黄鹤汀

左健民 高文龙

王晓天 蔡慧官

秘 书：周骥平

委 员：(排名不分先后)

沈世德 周骥平

徐文宽 唐国兴

韩雪清 戴国洪

李纪明 吴建华

鲁屏宇 王 钧

赵连生

序

人类满怀激情刚刚跨入充满机遇与挑战的 21 世纪。这个世纪是经济全球化、科技创新国际化的世纪，是新经济占主导地位的世纪，是科学技术突飞猛进、不断取得新突破的世纪。这个世纪对高等教育办学理念、体制、模式、机制和人才培养等各个方面都提出了全新的要求，培养的人才必须具备新思想新观念、不断创新、善于经营和开拓市场、有团队精神等素质。

机械高等工程教育是我国高等教育的重要组成部分，21 世纪对它的挑战同样是严峻的。随着现代科学技术的迅猛发展，特别是微电子技术、信息技术的发展，它们与机械技术紧密结合，从而形成传统制造技术、信息技术、自动化技术、现代管理技术等相交融、渗透的先进制造技术，使制造业和制造技术的内涵发生了深刻的变化。面向 21 世纪的机械制造业正从以机器为特征的传统技术时代迈向以信息为特征的系统技术时代。制造技术继续沿着 20 世纪 90 年代展开的道路前进。制造技术和自动化水平的高低已成为一个国家或地区经济发展水平的重要标志。而目前我国制造技术与国际先进水平还有较大差距，亟需形成我国独立自主的现代制造技术体系。面对这一深刻的变化和严峻的形势，我们必须认真转变教育思想，坚持以邓小平同志提出的“三个面向”和江泽民同志提出的“四个统一”为指导，以持续发展为主题，以结构优化升级为主线，以改革开放为动力，以全面推进素质教育和改革人才培养模式为重点，以构建新的教学内容和课程体系、深化方法和手段改革为核心，努力培养素质高、应用能力与实践能力强、富有创新精神和特色的应用性的复合型人才。

基于上述时代背景和要求，由国家机械工业局教编室、机械工业出版社、江苏省教育厅（原江苏省教委）、江苏省以及部分省外高等工科院校成立了教材编审委员会，并组织编写了机械工程及自动化专业四个系列成套教材首批 30 本，作为向新世纪的献礼。

这套教材力求具有以下特点：

（1）科学定位。本套教材主要用于应用性本科人才的培养。

（2）强调实际、实践、实用，体现“浅、宽、精、新、用”所谓“浅”，就是要深浅适度；所谓“宽”，就是知识面要宽些；所谓“精”，就是要少而精，不繁琐；所谓“新”，就是要跟踪应用学科前沿，跟踪技术前沿，推陈出新，反映时代要求，反映新理论、新思想、新材料、新技术、新工艺；所谓“用”，就是要理论联系实际，学以致用。

(3) 强调特色。就是要体现一般工科院校的特点、特色,符合一般工科院校的实际教学要求,不盲目追求教材的系统性和完整性。

(4) 以学生为本。本套教材尽量体现以学生为本、以学生为中心的教育思想,不为教而教,要有利于培养学生自学能力和扩展、发展知识能力,为学生今后持续创造性学习打好基础。

当然,本套教材尽管主观上想以新思想、新体系、新面孔出现在读者面前,但由于是一种新的探索以及其它可能尚未认识到的因素,难免有这样那样的缺点甚至错误,敬请广大教师和学生以及其它读者不吝赐教,以便再版时修正和完善。

本套教材的编审和出版得到了国家机械工业局教编室、机械工业出版社、江苏省教育厅以及各主审、主编和参编学校的大力支持和配合,在此,一并表示衷心感谢。

普通高等教育机械工程及自动化专业机电类规划教材编审委员会

主任 邱坤荣

2001年元月于南京

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 机床数控技术的基本概念	1
第二节 数控机床的组成和分类	3
第三节 数控机床的特点及适用范围	7
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	26
第四节 数控编程的工艺处理	36
第五节 程序编制中的数值计算	41
思考题与习题	47
第三章 数控加工程序的编制	49
第一节 数控车床的程序编制	49
第二节 数控铣床与加工中心的程序编制	55
第三节 自动编程简介	66
思考题与习题	72
第四章 计算机数控装置	73
第一节 概述	73
第二节 CNC 装置硬件结构	76
第三节 CNC 装置软件结构	88
第四节 CNC 装置的数据预处理	96
思考题与习题	115
第五章 数控装置的轨迹控制原理	117
第一节 概述	117

第二节 脉冲增量插补	118
第三节 数据采样插补	143
第四节 数控装置的进给速度控制	147
思考题与习题	154
第六章 数控机床的伺服系统	156
第一节 概述	156
第二节 开环步进式伺服系统	159
第三节 数控机床的检测装置	170
第四节 闭环伺服系统	181
第五节 闭环伺服系统分析	196
思考题与习题	200
第七章 数控机床的机械结构	202
第一节 数控机床对结构的要求	202
第二节 数控机床的布局特点	205
第三节 数控机床的主运动部件	208
第四节 数控机床的进给运动系统	212
第五节 数控机床的自动换刀装置	222
思考题与习题	233
第八章 数控机床的故障诊断	234
第一节 概述	234
第二节 数控机床常用的故障诊断方法	236
第三节 人工智能 (AI) 在故障诊断中的应用	240
思考题与习题	244
第九章 数控技术的发展与机械加工自动化	245
第一节 数控机床的发展趋向	245
第二节 先进制造技术简介	249
思考题与习题	257
参考文献	258

第一章 绪 论

第一节 机床数控技术的基本概念

一、概述

数控技术，简称数控（Numerical Control）。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称为数控（NC）机床。

数控系统包括：数控装置、可编程序控制器、主轴驱动及进给装置等部分。

数控机床是机、电、液、气、光高度一体化的产品。要实现对机床的控制，需要用几何信息描述刀具和工件间的相对运动以及用工艺信息来描述机床加工必须具备的一些工艺参数。例如：进给速度、主轴转速、主轴正反转、换刀、冷却液的开/关等。这些信息按一定的格式形成加工文件（即正常说的数控加工程序）存放在信息载体上（如磁盘、穿孔纸带、磁带等），然后由机床上的数控系统读入（或直接通过数控系统的键盘输入，或通过通信方式输入），通过对其译码，从而使机床动作和加工零件。

二、数控机床的工作流程

数控机床工作时根据所输入的数控加工程序（NC 程序），由数控装置控制机床部件的运动形成零件加工轮廓，从而满足零件形状的要求。机床运动部件的运动轨迹取决于所输入的数控加工程序。数控加工程序是根据零件图样及加工工艺要求编制的。

下面简述数控机床的工作流程：

1. 数控加工程序的编制

在零件加工前，首先根据被加工零件图样所规定的零件形状、尺寸、材料及技术要求等，确定零件的工艺过程、工艺参数、几何参数以及切削用量等，然后根据数控机床编程手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序单。早期的数控机床还需将零件加工程序清单由穿孔机制成穿孔带以备加工零件用。

对于较简单的零件，通常采用手工编程；对于形状复杂的零件，则在编程机上进行自动编程，或者在计算机上用 CAD/CAM 软件自动生成零件加工程序。

2. 输入

输入的任务是把零件程序、控制参数和补偿数据输入到数控装置中去。输入的方法因输入设备而异，有纸带阅读机输入、键盘输入、磁带和磁盘输入以及通信方式输入。输入工作方式通常有两种。一种是边输入边加工，即在前一个程序段在加工时，输入后一个程序段的内容；另一种是一次性地将整个零件加工程序输入到数控装置的内部存储器中，加工时再把一个个程序段从存储器中调用进行处理。

3. 译码

数控装置接受的程序是由程序段组成的，程序段中包含零件轮廓信息（如直线还是圆弧、线段的起点和终点等）、加工进给速度（F 代码）等加工工艺信息和其它辅助信息（M、S、T 代码等）。计算机不能直接识别它们，译码程序就像一个翻译，按照一定的语法规则将上述信息解释成计算机能够识别的数据形式，并按一定的数据格式存放在指定的内存专用区域。在译码过程中对程序段还要进行语法检查，有错则立即报警。

4. 刀具补偿

零件加工程序通常是按零件轮廓轨迹编制的。刀具补偿的作用是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹运动加工出所要求的零件轮廓。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿。

5. 插补

插补的目的是控制加工运动，使刀具相对于工件作出符合零件轮廓轨迹的相对运动。具体的说，插补就是数控装置根据输入零件轮廓数据。通过计算，把零件轮廓描述出来，边计算边根据计算结果向各坐标轴发出运动指令，使机床在响应的坐标方向上移动一个单位位移量，将工件加工成所需的轮廓形状。所以说，插补就是在已知曲线的种类、起点、终点和进给速度的条件下，在曲线的起、终点之间进行“数据点的密化”。在每个插补周期内运行一次插补程序，形成一个个微小的直线数据段。插补完一个程序段（即加工一条曲线）通常需要经过若干次插补周期。需要说明的是，只有辅助功能（换刀、换档、冷却液等）完成之后才能允许插补。

6. 位置控制和机床加工

插补的结果是产生一个周期内的位置增量。位置控制的任务是在每个采样周期内，将插补计算出的指令位置与实际反馈位置相比较，用其差值去控制伺服电动机，电动机使机床的运动部件带动刀具相对于工件按规定的轨迹和速度进行加工。

在位置控制中通常还应完成位置回路的增量调整、各坐标方向的螺距误差补偿和方向间隙补偿，以提高机床的定位精度。

第二节 数控机床的组成和分类

一、数控机床的组成

数控机床是数值控制的工作母机的总称。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。

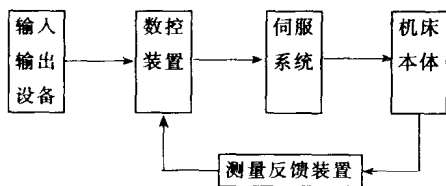


图 1-1 数控机床的组成框图

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；功能普通的机床则可能加上纸带阅读机和纸带穿孔机、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）；功能较高的可能还包含有一套自动编程机或计算机辅助设计/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。数控装置通常是指一台专用计算机或通用计算机与输入输出接口板以及机床控制器（可编程控制器）等所组成的控制装置。机床控制器的主要作用是实现对机床辅助功能 M、主轴转速功能 S 和换刀功能 T 的控制。

数控装置的主要功能如下：

- (1) 多坐标控制（多轴联动）。
- (2) 插补功能（如直线、圆弧和其它曲线插补）。
- (3) 程序输入、编辑和修改功能（人机对话、手动数据输入、上位机通信输入）。
- (4) 故障自诊断功能 由于数控系统是一个十分复杂的系统，为使系统故障停机时间减至最少，数控装置中设有各种诊断软件，对系统运动情况进行监视，及时发现故障，并在故障出现后迅速查明故障类型和部位，发出报警，把故障源隔离到最小范围。

- (5) 补偿功能 补偿主要包括刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补

偿、螺距误差补偿等。

(6) 信息转换功能 主要包括 EIA/ISO 代码转换、英制/米制转换、坐标转换、绝对值/增量值转化等。

(7) 多种加工方式选择 可以实现多种加工方式循环、重复加工、凹凸模加工和镜像加工等。

(8) 辅助功能 辅助功能也称 M 功能, 用来规定主轴的起停和转向, 冷却液的接通和断开, 刀具的更换等。

(9) 显示功能 用 CRT 或液晶屏显示程序、参数、各种补偿量、坐标位置、故障源以及图形等。

(10) 通信和联网功能。

3. 伺服系统

伺服系统是接受数控装置的指令, 驱动机床执行机构运动的驱动部件 (如主轴驱动、进给驱动)。它包括伺服控制电路、功率放大线路和伺服电机等。伺服电机常用的有步进电动机、电液马达、直流伺服电动机和交流伺服电机。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。

4. 测量反馈装置

该装置由测量部件和响应的测量电路组成, 其作用是检测速度和位移, 并将信息反馈给数控装置, 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。

常用的测量部件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

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, 包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。机床是被控制的对象, 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. 按机械加运动的运动轨迹分类

(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。刀具在移动过程中不切削, 一般采用快速运动。其移动过程可以是先沿一个坐标方向移动, 再沿另一个坐标方向移动到目标位置, 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，再分级降速慢速趋近目标位置。

这类数控机床主要有数控钻床、数控镗床和数控冲床等。

(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。其路线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。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。这类数控机床通常具备刀具半径和长度补偿功能，以及主轴转速控制功能，以便在刀具磨损或换刀具后能得到合格的零件。

典型机床有：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，有两到三个可控轴，但同时可控制的只有一个轴。

(3) 轮廓控制数控机床 这类机床的数控装置能够同时控制两轴或两个以上的轴，对位置和速度进行严格的不间断控制。它具有直线和圆弧插补功能、刀具补偿功能、机床轴向运动误差补偿、丝杠的螺距误差和齿轮的反向间隙误差补偿等功能。该类机床可加工曲面、叶轮等复杂形状的零件。

典型机床有：数控车床、数控铣床、加工中心等。

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，输出数字指令信号给伺服系统，驱动机床运动。指令信号的流程是单向的，如图 1-2 所示。

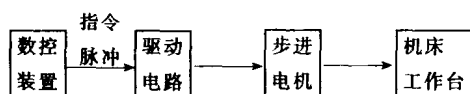


图 1-2 开环控制的数控机床

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经济型、中小型数控机床。

(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 1-3 为闭环控制的数控机床的原理框图。安装在工作台的位置传感器（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。

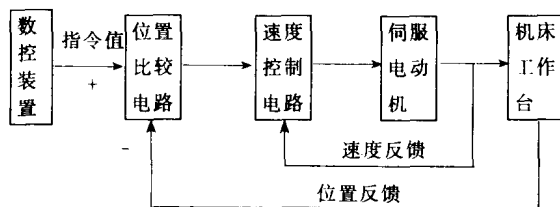


图 1-3 闭环控制的数控机床

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铣床、超精车床和超精铣床等。

(3) 半闭环控制的数控机床 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，而是来自电动机端或丝杠端连接的测量元件，见图 1-4。实际位置的反馈值是通过间接测得的伺服电动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。

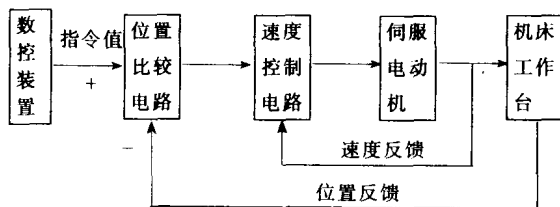


图 1-4 半闭环控制的数控机床

3. 按照功能水平分类

数控机床的分类按所使用的数控系统的配置及功能而分。它分为高级型、普通型和经济型数控机床。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。分类见表 1-1。

表 1-1 数控机床的分类

类 型	主控机	进给	联动轴数	进给分辨率	进给速度 / (m/min)	自动化程度
高级型	32 位微处理器	交流伺服驱动	5 轴以上联动	$0.1\mu\text{m}$	≥ 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	4 轴及以下	$1\mu\text{m}$	≤ 24	具有人机对话接口
经济型	单板机 单片机	步进电动机	3 轴及以下	$10\mu\text{m}$	6~8	功能较简单

第三节 数控机床的特点及适用范围

一、数控机床的特点

与其它加工设备相比，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。这是由于数控机床具有多坐标轴联动功能，并可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. 减少工人劳动强度

数控机床主要是自动加工，能自动换刀、起停切削液、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. 生产管理水平提高

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、工具夹准备、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联接，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。

二、数控机床的适用范围

在机械加工业中大批量零件的生产宜采用专用机床或自动线。对于小批量产品的生产由于生产过程中产品品种的变换频繁、批量小、加工方法的区别大，宜采用数控机床。数控机床的适用范围见图 1-5。

图 1-5 所示为随零件复杂程序和零件批量的变化，通用机床、普通机床和数控机床的运用情况。当零件不太复杂，生产批量较小时，宜采用通用机床；当生产批量较大时，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。

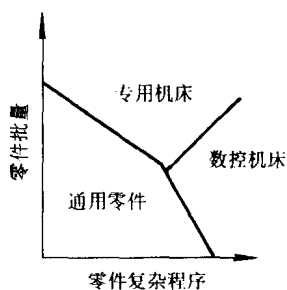


图 1-5 数控机床的适用范围

思考题与习题

- 1-1 数控机床的工作流程是什么？
- 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？三者如何区别？
- 1-4 数控机床有哪些特点？
- 1-5 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？

第二章 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：

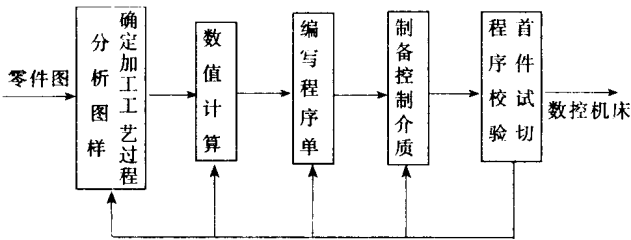


图 2-1 数控编程的步骤

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、圆弧的圆心、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，常用的有穿孔纸带、磁盘等，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。