

数控加工程序编制

乔城泰

陕西机械学院机制工艺教研室

一九九二年十一月

目 录

前 言	1
第一章 数控加工程序编制概述	2
§ 1-1 数控机床简介	2
§ 1-2 数控加工的基本概念	8
§ 1-3 数控加工程序编制	10
§ 1-4 程序编制的内容和步骤	11
第二章 程序编制中的工艺设计	12
§ 2-1 零件适于数控加工合理性分析	12
§ 2-2 零件加工工艺规程的制订	13
§ 2-3 工艺设计中应注意的两个问题	17
第三章 数值计算	22
§ 3-1 程序编制允许误差的确定	22
§ 3-2 数值计算的内容	25
§ 3-3 采用具有直线插补功能数控系统的数值计算	26
§ 3-4 采用具有直线—圆弧插补功能数控系统的数值计算	37
§ 3-5 列表曲线的数学处理	40
习 题	43
第四章 程序单的编写与纸带的制作	45
§ 4-1 数控程序的纸带编码	45
§ 4-2 工艺指令	49
§ 4-3 程序段格式	50
§ 4-4 数控机床的坐标轴和运动方向	54
§ 4-5 纸带的制作及其正确性检查	57
第五章 数控钻镗床的程序编制	58
§ 5-1 数控钻镗床程序编制的特点	58
§ 5-2 数控钻镗床程序编举例	62
习 题	65
第六章 数控车床的程序编制	66
§ 6-1 数控车床程编概述	66
§ 6-2 数控车床的程编方法	67
§ 6-3 数控车床程编举例	93
习 题	99
第七章 数控铣床的程序编制	100
§ 7-1 直线—圆弧轮廓零件程编方法	100

§ 7-2 尖角过渡和切入程序.....	104
§ 7-3 轮廓零件数控加工程编举例.....	113
习 题.....	119
第八章 加工中心的程序编制.....	120
§ 8-1 XH754 卧式加工中心概况.....	120
§ 8-2 XH754 卧式加工中心的程序编制.....	121
§ 8-3 XH754 卧式加工中心程编举例.....	144
习 题.....	154
附表1 ISO 准备功能.....	156
附表2 ISO 辅助功能.....	158

前 言

数控机床是五十年代初期发展起来的一种新型自动化机床。采用数控机床加工，能够减轻操作工人的劳动强度、简化技术准备和生产准备工作、缩短产品的生产周期、保证高的加精度。对于单件小批生产和复杂型面零件的加工，数控机床尤其适用，其应用愈来愈广泛。

数控机床是按照预先编制好的程序进行加工的。掌握数控加工程序编制的方法，充分发挥数控机床的效能，已成为机械加工工艺人员面临的一项新的课题。

要熟练掌握数控加工程序编制，除了要了解数控机床及其程序编制方法以外，还应当具有比较丰富的机械加工工艺知识和较强的数学运算能力。

当前，数控机床的品种和型号日益增多，由于各种数控机床所用数控装置不同，其程序编制的具体规定也就不尽相同。作为机械制造专业的选修课，《数控加工程序编制》将简要地介绍数控加工程序编制的基本知识、手工编程的一般方法，为同学今后从事数控加工程序编制工作初步奠定基础。

第一章 数控加工程序编制概述

§ 1-1 数控机床简介

一、数控与数控机床

所谓数字控制(简称数控),是指用于控制机床或其他设备的操作指令(或程序)以数字形式给定的一种控制方式,采用这种控制方式的机床,就是数字控制机床(简称数控机床)。

利用数控机床进行加工时,需根据零件图纸,把机床要做的各种运动编成数字代码,并用特殊的方法(如穿孔、录磁等)记录在便于更换的传递介质上,即制成穿孔卡、磁盘等,然后送给一个电子控制装置(即数控装置)去进行运算和处理,由它发出命令,控制执行机构去完成所需的各种运动,直到零件被自动加工出来。

具有运算功能的数控装置,也称为控制机,它实质上就是数字计算机。控制机可以是一台专用计算机,其特点是“专用”,就是说用于铣床的控制机不能用来控制车床,用于车床的控制机也不能用来控制铣床。它的控制功能是由逻辑电路实现的,用它控制的机床,称为NC(Numerical Control)机床。控制机也可以是一台通用计算机,这种控制,称为计算机^机数控,用它控制的机床,称为CNC(Computer Numerical Control)机床。

计算机数控系统主要特点是用一台小型计算机代替通常的数控装置,输入信息的存储、数值的加工、插补运算及各种控制功能都通过计算机由软件来完成,同时还能增加很多用逻辑电路难以实现的功能。计算和机床及其驱动、强电等设备之间只要采用一种接口设备联接即可。所以它的通用性较强。当被控制的机床或控制功能改变时,只要改变其软件和接口即可。

计算机数控系统还具有存储能力。零件加工程序可以一次性经光电阅读机输入给存储器,以后使用时只要从计算机存储器内调出零件加工程序去控制机床而不再要光电阅读机随机工作。这样不仅节省了倒带时间,更主要的是可以减少由于光电阅读机起动机频繁而造成的差错。此外,零件加工程序也可由键盘输入。

由于计算机数控系统在许多方面都有其优越性,所以现在越来越多地利用它取代传统的数控系统。

从数控机床使用的角度来说,无论用哪一类控制机,加工前首先都要根据所加工的零件进行编程,即将设计图纸上的零件形状和尺寸等变换成控制机能够接受的形式,其中绝大多数是以穿孔纸带作为将全部数字信息传递给控制机的一种手段。如图1-1所示,纸带从光源灯下面通过时,光线可以通过纸带上的孔而射向光敏元件,使它产生电流而将穿孔的代码传送到控制机内部的电路中去。

图1-2所示为一般控制机的方框图。光电阅读机读入的信息由输入装置来译码,其主要功能是识别穿孔纸带上的代码,并将文字码和数码区分开来。记录在穿孔纸带上的数字信息有两类,一类是用来表示机床坐标位置的数码;另一类是机床操作的文字指令

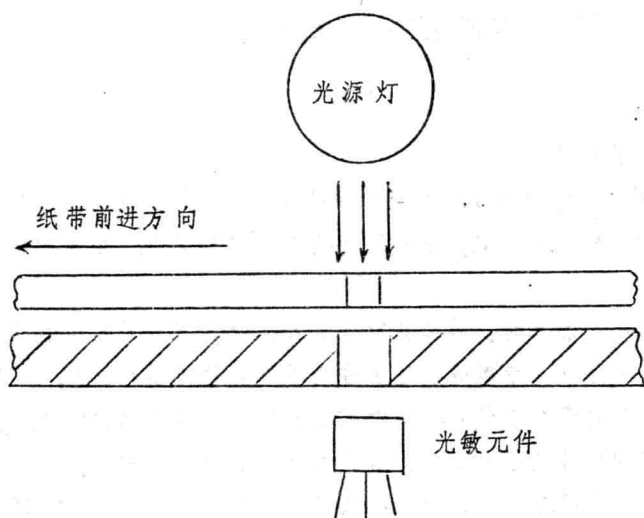


图 1-1 光电纸带阅读机

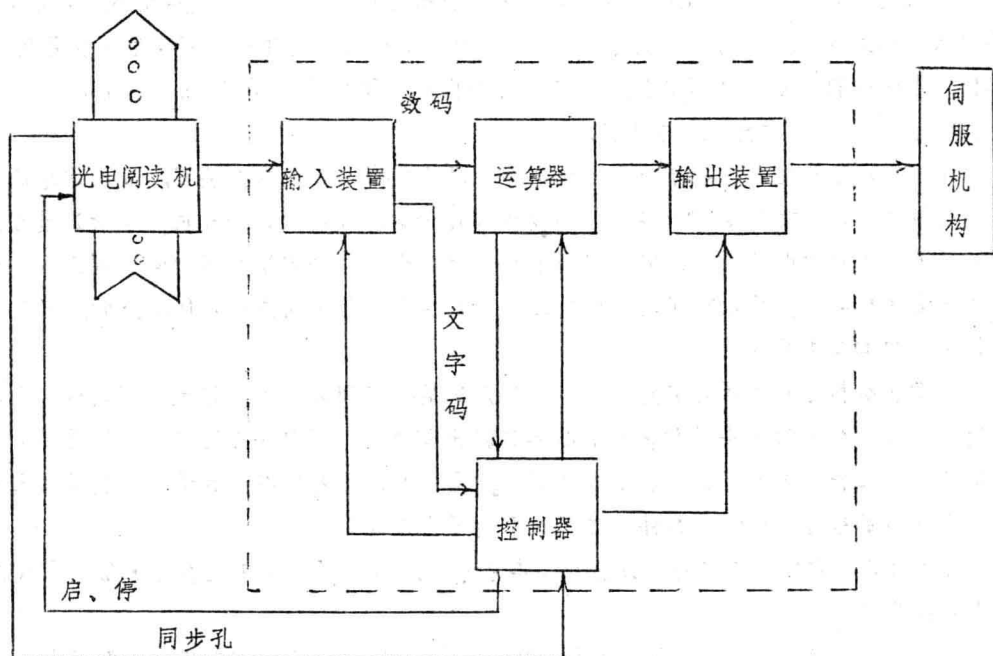


图 1-2 控制机的原理结构

码。输入的数码供给运算器，运算器一面运算，一面向输出装置发出控制信号。输入的文字码，则不经过运算器，直接进入控制器，实现对机床的各种控制，例如控制机床部件的运动方向、进给速度等。控制器的另一个作用是控制整机的工作循环，例如控制光电阅读机的启、停，控制运算器的运算，控制输出脉冲的分配等。最后由输出装置将来自控制器和运算器的指令信息传送至各执行机构（伺服机构）。

伺服机构的作用是接受控制机发出的进给脉冲信号，经转换（如转换为转角等）及

功率放大后通过机床的进给传动机构——滚珠丝杠去驱动机床工作台或刀架。因此，控制机在单位时间内发出的脉冲数决定着工作台或刀架的移动速度（进给速度），而控制机在某一移动方向上所发出的总的进给脉冲数，则决定着工作台或刀架在该方向上的总位移量。

常用的伺服机构是步进电机和电液脉冲马达。

所以，如图1-3所示，数控机床的四个基本组成部分是：传递介质（也称为控制介质）、数控装置、伺服机构和机床。为了进一步提高机床的加工精度，就需要再加上一个

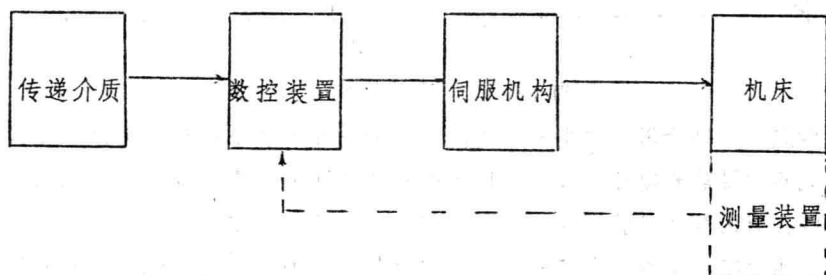


图1-3 数控机床的组成部分

测量装置（图中虚线所示）来测量机床的实际位移量，使它同给定的位移量完全符合，消除机床传动链中的误差对加工精度的影响。

综上所述，控制机控制机床加工的过程大致是这样的：当光电阅读机将穿孔纸带上的一段程序读完后，输入指令通过控制机关闭阅读机。由于控制器得到了加工指令，于是便控制^{运算}器运算，使机床进行加工；运算器不断进行偏差计算，就不断地确定出刀具或工件进给的方向，从而通过伺服机构使机床逐步加工出要求的轮廓形状。当加工到该段程序终点坐标时，运算器关闭，控制器又启动阅读机，开始读入下一段程序，进行另一线段的加工。这样循环下去直至全部加工结束，整个控制系统停机。由此可知，数控机床的加工运动基本上是不停顿地进行着，而穿孔纸带的移动则是断续的。

二、数控机床的插补

工件轮廓形状如果是由一个平面上的直线、斜线、圆弧或其他曲线组成的，则可以由X、Y两个坐标方向上的运动来合成；如果是由空间斜线、曲线、曲面组成的，则可以由X、Y、Z三个坐标方向上的运动来合成。在机床的数字控制系统中，当系统每给出一个进给脉冲时，工作台或刀架在相应的坐标方向上移动一段距离，这个距离即称为脉冲当量，单位是毫米/脉冲。同一台数控机床在各坐标方向上的脉冲当量可以相同，也可以不同，但其大小是一定的，它是由步进电机接受一个脉冲后转动角度的大小及其到工作台或刀架传动系统的参数决定的。

数控机床在加工过程中，计算机根据工件图纸的要求（实际上是根据穿孔带上加工指令的要求），经过一系列的运算，然后把脉冲数分别送到X、Y或Z等各个坐标的伺服驱动^{机构}，驱动^{机构}工作台或刀架在该坐标方向上移动一定的距离。

数控机床在各坐标方向的运动都是“一步”“一步”进给的，因此形成的轨迹一般都是各种折线（图1-4）。但是需要加工^{的工}件表面大多是光滑的连续曲线，这就存在着误差。显然，折线^线段越长，加工误差也就越大；折线^{的工}线段越短，加工误差也就越小。因此，数控

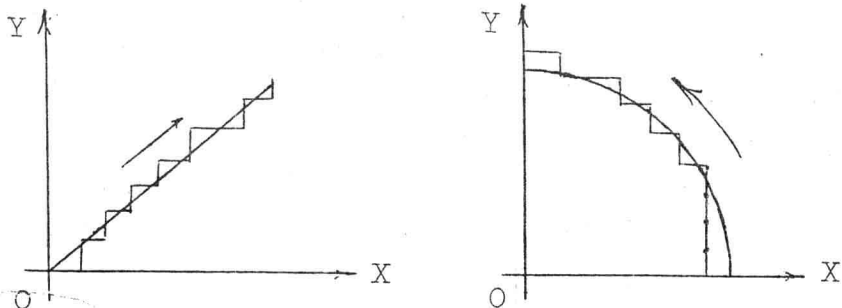


图 1-4 运动轨迹

系统脉冲当量越小，其加工精度也就越高。但是脉冲当量也不能随意选择，而要根据精度要求和系统的实际可能来确定。目前国产数控机床的脉冲当量一般为 0.01 毫米/脉冲，小型精密数控机床的脉冲当量为 $0.005 \sim 0.001$ 毫米/脉冲。

数控机床通过在各坐标方向“一步”“一步”运动而使其运动轨迹符合规定线段的要求，这就叫插补。说得更明确一些，所谓插补，就是沿着规定的线段，在一个线段的起点和终点之间进行“数据点的密化”工作，用一个一个脉冲把起点和终点之间的空白填补起来，且所产生的误差要小于一个脉冲量。能完成这种运算功能的电路称为插补器。插补器是数控装置的核心部分。目前，数控系统一般都具有直线插补和圆弧插补的功能，有些数控机床的数控系统只具有直线插补功能。

三、数控机床的分类

目前数控机床的品种已经基本齐全。和普通机床一样，按工艺用途的不同可分为数控钻床、镗床、车床、铣床和磨床等。此外，还有具有刀库和机械手因而能自动换刀的加工中心。机床的坐标数除常见的不超过三坐标的以外，为加工复杂形状的零件，还常用 $4 \sim 6$ 坐标的数控机床。

根据工作方式的不同，数控机床可按下述两个原则来分类。

1. 按机床运动轨迹来分

(1)、点位控制 (图 1-5)

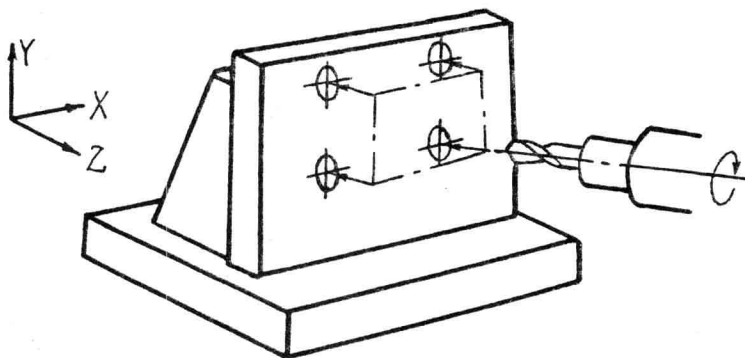


图 1-5 点位控制加工方法

点位控制的特点是只要求控制刀具或机床工作台移动的终点位置，使刀具相对于工件准确定位。至于从一点到另一点之间移动的轨迹则没有严格要求，因为移动过程中不进行切削。所以，可以先移动一个坐标，然后再移动一个坐标；也可以两个坐标同时移动。为了提高加工效率并满足加工精度要求，在向定位点移动的过程中，速度先快后慢，一般采用^用分级降速或连续降速的方法。采用这类控制系统的机床有钻床、镗床等。

(2)、直线控制（图 1—6）

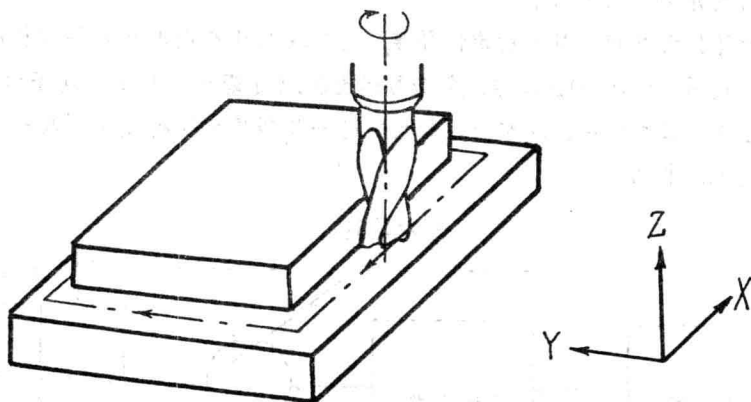


图 1—6 直线控制加工方法

直线控制的特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还要保证被控制的两个坐标点之间移动的轨迹是一条平行于坐标轴的直线，且在移动过程中刀具能以指定的进给速度进行切削。某些直线控制系统也可沿 45° 斜线进行切削，但不能沿任意斜率的直线切削。简易数控车床和简易数控铣床一般采用直线控制系统。

(3)、轮廓控制（或称为连续控制，图 1—7）

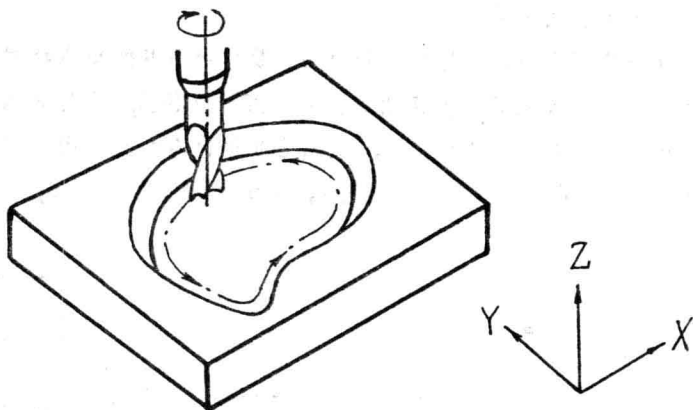


图 1—7 轮廓控制加工方式

轮廓控制的特点是能够对两个或两个以上坐标方向的同时运动进行严格的不间断控制，运动过程中刀具在工件表面连续进行切削，从而加工出符合要求的工件轮廓。轮廓控制能加工曲面、凸轮、锥度等复杂形状的零件。多坐^标数控铣床、功能齐全的数控车床都采用轮廓控制系统。轮廓控制系统一般都具有直线插补和圆弧插补功能，有些系统还具有抛物线、

螺旋线等特殊曲线的插补功能。但也有些轮廓控制系统只具有直线插补功能。

2. 按伺服机构的控制方式来分

(1). 开环控制系统

数控装置根据输入数据发出进给脉冲，经伺服驱动机构，带动滚珠丝杠，使工作台或刀架移动。这种不带位置测量装置，也不将被控制量的实际值反馈回去和指令值进行比较的系统，称为开环控制系统。

采用开环控制系统的机床的定位精度，主要取决于伺服驱动元件和机床传动机构的精度。目前一般可达 ± 0.02 毫米，少数可达 ± 0.01 毫米。它的优点是结构比较简单、调试和维修方便、工作稳定、成本低。缺点是进一步提高定位精度受到限制。图1-8所示为开环控制系统框图。

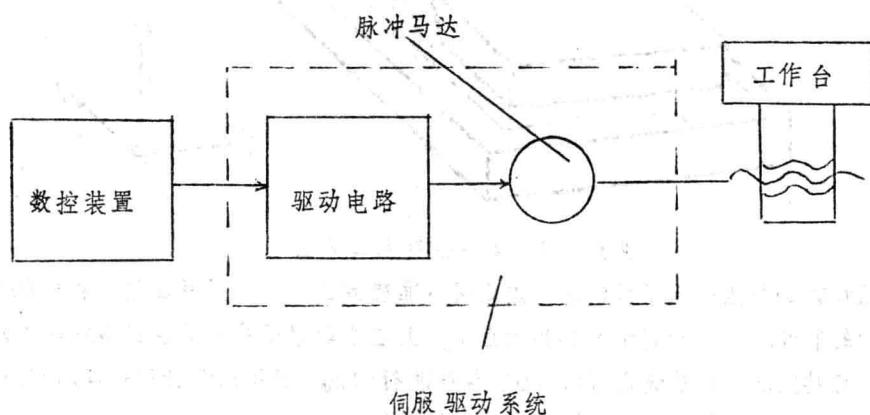


图1-8 开环控制系统框图

(2). 闭环控制系统

图1-9所示为闭环控制系统框图。数控装置根据输入数据发出指令脉冲A，使工作台移动。同时通过检测装置测出工作台的实际位移量，向比较器发回反馈信号脉冲B进行比较，用A与B的差值进行控制，直到差值等于零为止。闭环控制的特点是定位精度高，可达0.01毫米以内。装置比较复杂，调试和维修比较困难，制造成本较高。

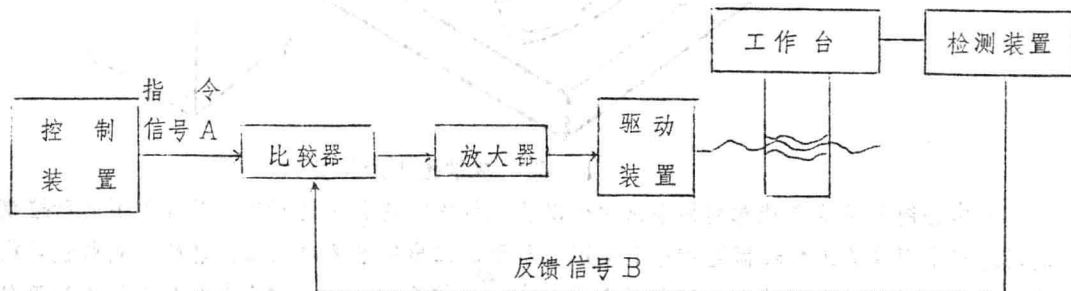


图1-9 闭环控制系统框图

(3)、半闭环控制系统

半闭环控制系统是通过装在丝杠上的角位移测量元件测量丝杠的转动量，间接地测量工作台的移动量。因此，半闭环的实际控制量是丝杠的转动（角位移）。而由丝杠的转动到工作台的移动之间的传动精度主要由丝杠、螺母副的精度来保证。图 1-10 所示为半闭环控制系统框图。

半闭环控制系统的精度虽低于闭环控制系统，但系统稳定性较好，调试比较容易。

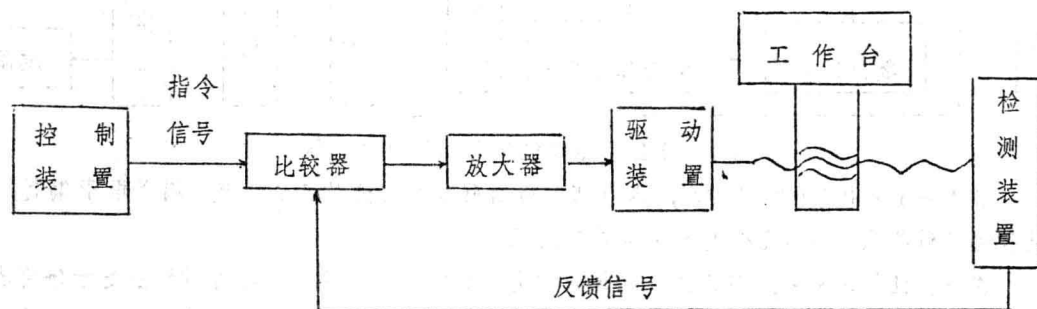


图 1-10 半闭环控制系统框图

§ 1-2 数控加工的基本概念

所谓数控加工，当然是指在数控机床上进行加工。加工时，为了达到预定的加工要求，就需要对机床的动作进行控制，一是控制机床动作的先后次序，二是控制机床运动部件的位移量。例如加工图 1-11 所示的台阶轴时，刀具应从起始位置开始，按①、②、…⑧的顺序走刀。在普通车床上加工时，从刀具快速接近工件，对加工面进行切削，直到快速退回等一系列机床动作，都是由人以手动操作的方式来完成。若在一般自动车床、靠模车床上加工，虽不需人的操作，但机床的动作是由事先做好的凸轮、挡块和靠模等装置自动进行控制的。而在数控车床上加工时，刀具运动的行程距离和运动轨迹以及主轴转速和进给速度预先记录在数控带上，用数控带控制机床的动作。数控加工正是以穿孔纸带作为机床自己能够“阅读”的工艺卡片，用控制机和伺服机构代替人的大脑和双手的部分功能，来控制全部加工过程的。

采用数控机床加工零件时，从零件图纸到加工出合格的产品，大体上需经过以下几个主要环节（图 1-12）：

1. 根据零件图纸，按规定的代码（数字、字母和符号）编写加工程序单；
2. 根据程序单制作穿孔纸带；

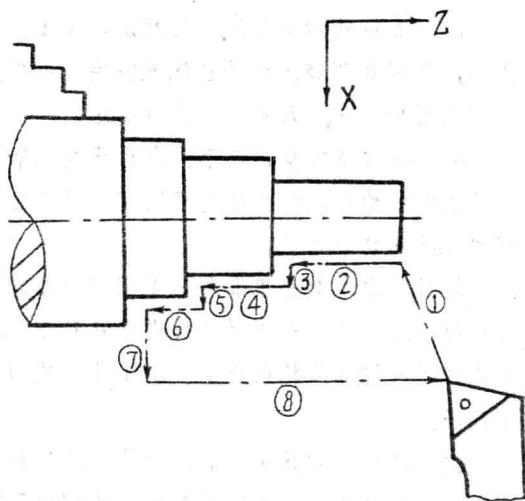


图 1-11 台阶轴的加工

3. 穿孔纸带上的数字信息经纸带阅读机输入控制机；
4. 控制机将输入信息进行运算处理后转换成驱动伺服机构的指令信号；
5. 由伺服机构控制机床的各种动作。

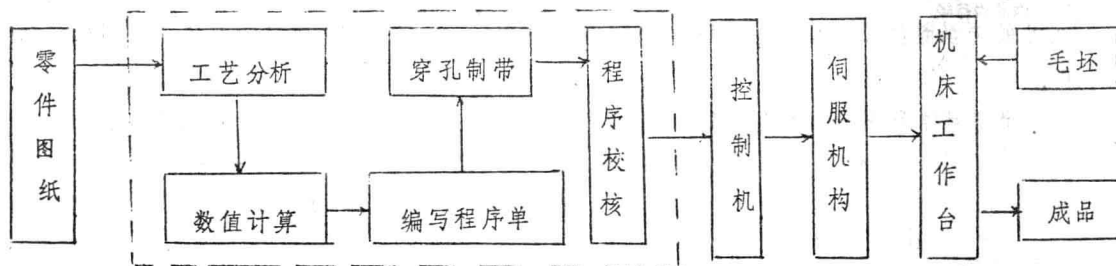


图 1-12 数控机床加工零件的过程

图 1-12 中虚框里的内容，即从工艺分析到程序校核的各个环节，属于程序编制；从控制机到机床工作台几个部分即构成数控机床。

在一般机械工业中，多品种、小批量和生产过程自动化的要求之间的矛盾是十分突出的。采用数控加工方法是解决这种矛盾行之有效的途径之一。这是因为数控加工方法具有许多优点：

1. 自动化程度高，能减轻劳动强度。在数控机床上加工作件时，机床动作是受纸带上信息（程序）控制的，自动进行加工。操作者一般只要装卸零件、更换刀具，在旁边监督机床的运行即可，因而劳动强度大大减轻。

2. 适应性强，为新产品的研制提供了有利条件。采用通用通用机床生产时，研制一种新产品，往往需要许多专用工装，生产周期较长。而采用数控加工方法，即使研制形状复杂、精度高的产品，也只需少量工装，因此试制周期短，精度也容易保证。一旦图纸有更改，只需修改纸带上相应部分，在短时间内便可把更改后的零件制造出来。当加工对象改变时，一般也只需要更换一条纸带和少量工装，机床无需作复杂调整。

3. 能提高加工精度，稳定加工质量。由于数控机床加工完全是自动控制的，人为误差小，所以加工精度与质量比较稳定。此外，数控加工的重复精度很高，即一批工件中从首件到最后一件，尺寸的一致性很好。

4. 具有高的生产效率。由于数控机床使用了液压或电动伺服马达和精密滚珠丝，所以机床主轴转速和进给速度比普通机床的调节范围大，同时数控机床的刚性也好，这就有可能提高切削用量。

此外，由于数控机床加工常采用标准定位夹紧装置，因而可以^{缩短}生产准备时间，减少夹具调整时间；加工中通常只要进行首件检查，因而检验时间也可以减少。总之，由于数控机床加工利用程序编制使机床发挥最大能力和减少非生产性时间，所以生产效率可以大幅度提高。

5. 适于用计算机控制。为了适应机械工业多品种、小批量生产的需要，将要发展计算机辅助制造系统，而数控机床和数控加工就是这种系统的基础。

§ 1-3 数控加工程序编制

由图 1-12 可知, 穿孔制带、程序校核以前各部分统称为数控加工程序编制。数控机床之所以能加工出各种各样形状、不同尺寸和精度的零件, 就是因为有不同的加工程序。所以数控加工程序的编制是数控机床使用中最重要的一环。

穿孔纸带上以数字信息的形式记录着零件加工的全部工艺过程、工艺参数和位移数据。穿孔制带前, 应填写零件加工程序单。所谓零件加工程序单(简称程序单)就是在程序编制过程中, 用来记录工艺过程、工艺参数和位移数据的表格, 它是制备纸带的依据。当采用键盘输入时, 则直接把零件加工程序单上的各项内容通过键盘输入控制机。所以, 程序编制中最关键的一环是如何根据零件图纸正确地填写出零件加工程序单。在零件加工程序单中, 对机床从开始启动到零件加工完毕所作的每一个动作都要作出明确的规定。填写程序单时, 不能漏掉或写错任何一个细小的过程。必须严格按照所用机床规定的程序格式填写程序单中每一个符号、字母和数字, 否则控制机就不能正常运行, 机床也就无法加工出符合要求的零件。

总之, 在进行程序编制时, 首先应对零件图纸进行工艺分析, 在分析的基础上作出各种处理(如选择刀具、确定加工路线、选择切削用量等), 然后进行必要的计算。在上述分析和计算的基础上编制出零件加工程序单。最后, 制成穿孔纸带, 以便控制机床加工。

显然, 程序编制工作的好坏将直接影响到数控机床的使用和数控加工特点的发挥, 因而程序编制工作在整个数控加工中占有最重要的地位。为了把程序编制工作搞好, 编程人员除了应当熟悉机床、刀具和控制机的性能及其使用外, 还应当了解所在工厂的生产特点和生产习惯等。

程序编制的方法可分为手工编程和自动编程两大类。

手工编程也称为人工编程。顾名思义, 即编程时处处离不开人。尽管在编程过程中可能用一些计算工具(如通用计算机等)和纸带正确性检查装置(如纸带读出器等), 但从写算式、填写程序单到手工穿孔等工作, 都是要人去完成的。因而手工编程既繁琐又复杂, 而且容易产生错误。资料上说, 一个长 700 毫米、宽 150 毫米中等复杂程度的零件, 用手工编程时, 两个人要工作三个多星期。而这个零件在数控铣床上的加工时间仅几十分钟。据国外报道, 程序编制时间与机械加工时间之比平均为 30:1。因此, 大约两台数控机床就要配备一名编程人员。目前国内大都采用手工编程。本讲义也只讨论手工编程。

随着计算技术的发展和算法语言的应用, 人们开始研究用“语言程序”的方法实现数控编程自动化。就是用语言和符号来描述零件图纸上所表示的几何形状, 并用同样的手段描述切削加工时刀具相对零件运动的轨迹、顺序及其他工艺参数。通用计算机通过适当的媒介阅读上述内容, 并进行必要的计算, 然后控制计算机的输出设备, 直接得到数控机床所需数控带, 同时还可得到数控机床零件加工程序单和零件图形或刀具中心轨迹。这样, 编程人员只需使用数控机床编程的专用“语言”来编写输入计算机的“语言程序”, 不必参与计算、数据处理、编写程序单和制作纸带的工作。但是, 编程时还要对加工零件进行图形工艺分析, 确定加工路线、加工用量, 然后按语言系统所规定的“语言”和“语法”

编写该零件的计算机输入程序,其中包括全部零件轮廓各几何元素的定义、必要的计算参数、机床的辅助功能、工艺参数及整个加工路线。这个程序称为“零件源程序”。源程序编好后,穿孔制备纸带,将纸带上的信息送入计算机,计算机对零件源程序进行处理,即可输出加工程序单或数控机床所需数控带。

§ 1-4 程序编制的内容和步骤

程序编制主要包括以下八个方面的工作:

1. 分析零件图纸

首先要分析零件的材料、形状、尺寸、精度以及毛坯形状和热处理要求等。通过分析,可以确定该零件是否适宜在数控机床上或适宜在哪台数控机床上加工。有时还要确定在某台数控机床上加工该零件的哪些工序或哪几个表面。分析零件图纸是以下各项工作的基础。

2. 确定加工工艺过程

在分析零件图纸的基础上,确定零件的加工方法和加工路线,并确定加工用量等工艺参数以及工件的装夹定位方法。

3. 选择或设计工夹具

数控机床所用工夹具大都是通用性的,因此在大多数情况下只是选用的问题。对专用的工夹具,编程人员可以提出要求,由工艺员或编程人员临时设计。

4. 数值计算

根据零件图纸和确定的加工路线,算出数控机床所需输入数据。数值计算的复杂程度,取决于零件的复杂程度和数控系统的功能。关于数值计算问题,将在第三章里加以讨论。

5. 填写零件加工程序单

根据加工路线,计算出的数据和已确定的加工用量,结合数控系统对输入信息的要求,填写零件加工程序单。填写程序单时,应当了解数控机床加工零件的过程,以便填入必要的工艺指令,如机床启停、计划停车等。

6. 制备穿孔带

根据程序单在键盘穿孔机上穿孔,以便得到数控系统所需的数控带。穿孔时应注意所用穿孔机的编码应符合数控系统输入编码的要求。

7. 校对、检查数控带

检查由于人工和机器造成的纸带错误以及计算和填写程序单时造成的错误。这一工作既费时间又麻烦人,但却是必不可少的。

8. 首件试加工

纸带校对正确后,必须在机床上试加工。如果加工出来的零件不合格,需修改纸带或重新制作纸带,直到加工出满足图纸要求的零件为止。因此,首件试加工是编程人员必须参与的工作。

按其工作的顺序和性质,可将上面八个方面的工作分为三个阶段,即工艺处理阶段、数学处理(数值计算)阶段和制备纸带阶段。

第二章 程序编制中的工艺设计

在编制零件的加工程序时，首先需要进行工艺设计。数控加工实践表明，这一工作是十分重要的。

编程人员在编制零件加工程序时，要有数控机床使用说明书、切削用量表和标准工夹具手册等。

程序编制中的工艺设计，大都与普通机床加工类似。但是，由于数控机床加工过程的每一细节都是预先确定的，其加工过程是自动完成的，因而与普通机床加工工艺设计相比，又有其特点，现分别说明如下。

§ 2-1 零件适于数控加工合理性分析

编程人员要进行零件适于数控加工合理性的分析工作。数控机床加工适用范围，大体上可用图2-1表明。但这是十分概略的根据国内外数控加工实践表明，下述一些类型的零件最适于数控加工：

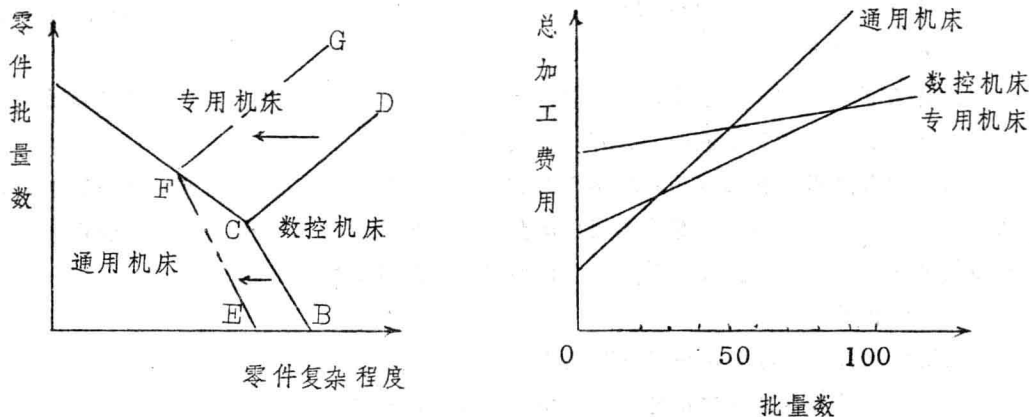


图2-1 数控加工适用范围

1. 用通用机床加工时，需要设计制造复杂的专用夹具或需要很长调整时间的零件；
2. 小批量生产（100件以下）的零件；
3. 形状复杂、加工精度要求高或必须用数学方法确定的复杂曲线、曲面轮廓零件；
4. 要求精密复制的零件；
5. 预备多次改变设计的零件；
6. 钻、镗、铰、铇、攻丝及铣削工序联合进行的零件；
7. 价值高的零件（此类零件虽不多，但若加工中出现差错而报废，将造成巨大经济损失）；
8. 要求百分之百检查的零件。

采用数控机床加工的主要缺点是设备费用高，因而即使符合上述情况中的一项或几项

的零件，在决定是否采用数控加工方法时，还要仔细分析研究。

应当指出，随着数控加工技术的普及^和认识的提高，数控机床的使用范围正由图2-1中的BCD向EFG扩大。

§ 2-2 零件加工工艺规程的制订

与普通机床加工相类似，数控加工时亦应制订零件数控加工的工艺规程。工艺规程的格式随数控机床类别的不同而不同。在制订零件数控加工工艺规程时，一般需要考虑以下几个主要问题：

一、确定工序的加工内容

目前，在一般工厂中，数控机床的数量尚不够多。因此，多数情况下，数控机床只承担零件加工全过程中部分表面、尤其是一些重要表面的终加工。此时，数控加工的内容相当明确。某些零件有时全部加工任务都由数控机床承担，例如轴类和盘套类零件的车削加工全由数控车床来完成。这时，数控加工过程往往也要划分成若干道工序。工序的划分仍应按照粗、半精、精加工分开的原则，或者根据不同的安装来划分。

加工中心具有多种加工功能。零件在加工中心上加工时，往往可以完成除定位基准面以外的全部加工内容。对于带回转工作台的加工中心，制订零件的加工过程时，应规定每一工位的加工内容。

无论在普通数控机床上加工，还是在加工中心上加工，零件上相互位置及距离尺寸要求较高的表面应尽量安排在一道工序一次安装中来加工。

数控机床大都具有回转刀架或小型刀库，因而具有换刀功能，加工中有若干把刀具可供选用。至于加工中心，刀库有相当的容量。这些就为工序集中提供了必要的条件。所以，在数控机床和加工中心上加工时，工序的组织往往采用集中的原则。

二、选择机床设备

在选择数控机床时，应注意以下几点：

1. 所选用数控机床的数控系统的功能应能满足加工的需要。

一般，数控系统的功能愈齐全，加工程序的编制愈简单，机床的操作愈方便。所以，要加工圆弧面时，就要选用具有圆弧插补功能的机床；要加工轮廓面时，就要选用具有轮廓控制功能的机床；要加工螺纹时，就要选用能加工螺纹的机床。

2. 所选用的数控机床应能满足零件的加工精度要求。

目前，数控机床的加工精度一般都比较低，足以满足普通零件的精度要求。机床有“一般的”与“精密的”之分。当零件精度要求高时，可以选用精密的机床。但对于普通零件，在满足精度要求的前提下，应尽量选用一般的机床，以降低生产成本。

3. 所选用数控机床的加工范围应能满足零件的需要。

为此，各坐标方向的行程距离应能满足加工的需要，保证整个加工表面能完整地加工出来。同时，机床还应拥有足够大的空间，以满足安放工件和夹具的需要。

4. 所选用数控机床的回转刀架或刀库的容量应足够大，刀具数量能满足加工的需要。

5. 所选用数控机床的生产效率应能满足生产的需要。

首先, 机床的切削用量范围应能满足工艺上的需要。其次, 快速走刀(空行程)的速度要足够高。

三、确定工件的安装方法, 选择或设计机床夹具

数控机床上工件的定位原则和安装方法与一般机床上是一样的。要合理地选择定位基准和夹紧方案。在确定工件安装方法时, 应注意减少装夹次数, 尽可能做到在一次数, 尽可能做到在一次装夹中加工出全部待加工表面, 以充分发挥数控机床的效能。必要时可以在加工过程中挪动压板, 但要考虑压板松开后定位精度的保持问题。同时, 挪动压板时, 程序中要安排计划停车。这种情况在普通机床上加工时比较少见。

数控加工时, 应尽可能选用组合夹具、可调整夹具等标准化、通用化夹具, 避免设计、制造专用夹具, 以节省费用和缩短零件的生产周期。

对于数控加工用的机床夹具, 有以下几个特点:

1. 夹具结构应力求简单, 以缩短夹具的组装、调整或设计、制造时间。
2. 加工部位要敞开, 作到无论工作进给、快速移动, 还是换刀, 还是换刀过程中, 夹具上的任何部分都不与刀具发生干涉和碰撞。
3. 钻镗夹具和铣夹具, 必要时应设置供对刀用的孔, 以保证程序开始时刀具与工件之间的相互位置(详见§2-3)。
4. 由于加工时刀具相对于工件的位置是由程序中的位移量确定的, 所以钻镗夹具不设置钻套、镗套, 铣夹具不设置对刀装置。
5. 夹具在机床上的安装要准确可靠, 以保证工件在正确的位置上按程序规定的刀具运动轨迹接受加工。

四、选择切削刀具

与普通机床加工相比, 数控加工对刀具的选择要严格得多。数控加工要求刀具安装调试方便、刚性好、精度和耐用度高。

编程时, 大都规定刀具的结构尺寸和调整尺寸, 特别是自动换刀数控机床。在刀具安装到机床上之前, 应根据编程时确定的参数, 在机外的预调装置(也称对刀仪)中调整到所需要的尺寸, 如图2-2中的尺寸 Z_T 。

图2-3所示为用机械式预调装置进行刀具预调方法的示例。把钻头装在刀夹中, 连同刀具预调装置的孔座中, 孔座的端面A和测量基面B等高, 且相当于图2-2中机床主轴的端面。当精度要求不高时, 直接用高度尺测出 Z_T 值; 若精度要求高, 则用块规及千分表以相对量法测定 Z_T 值。

图2-4所示为用光学投影式预调

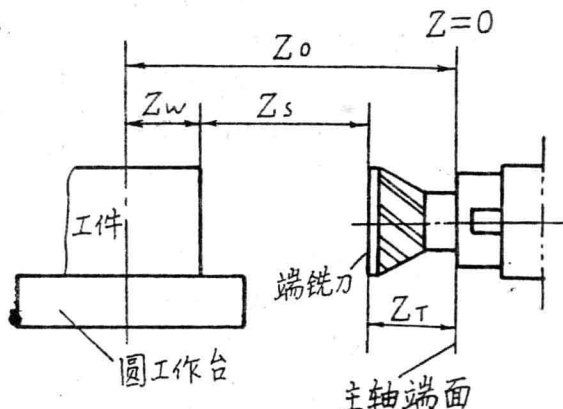


图 2-2 刀具的轴向尺寸