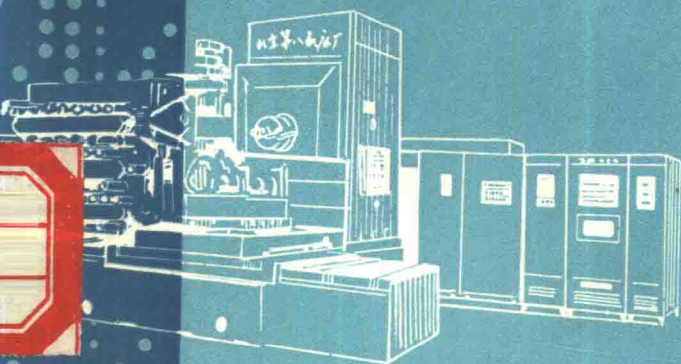


数控机床程序编制

树 志 编 著



科学出版社

数控机床程序编制

树 志 编著

科技馆藏章

内 容 简 介

本书是数控机床丛书的第二分册。这一册介绍在数控机床上加工零件时,编制零件加工程序的方法。考虑到初学者的需要,书中还介绍了一些基本概念。书中首先介绍了手工编制程序的方法,同时还提供一些编程时所用的计算公式;然后以我国研制的自动编程系统为例,介绍了自动编程的概念和使用;最后介绍程序编制方法的发展。

本书主要供具有中等文化程度的、从事这方面的工作的技术人员和工人阅读。

数控机床程序编制

树 志 编著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

沈阳市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年10月第一版 开本:787×1092 1/32

1978年10月第一次印刷 印张:6 3/4

印数:0001—80,200 字数:132,000

统一书号:15031·192

本社书号:1140·15—3

定价:0.55元

目 录

第一章 概述	1
第二章 手工编制程序	15
一 工艺处理问题	15
二 数值计算	25
三 填写程序单	66
四 纸带检验	81
五 程序编制实例	82
六 手工编程的应用范围	95
第三章 ZCX-1 语言程序	98
一 零件源程序	99
二 语句的基本成分	105
三 几何定义语句	108
四 计算参数语句	131
五 后置处理语句	133
六 运动语句	135
七 其他语句	141
八 程序和零件源程序实例	149
九 ZCX-1 系统概貌	157
第四章 数字控制线切割机的程序编制自动化	165
一 基本符号	165
二 语句	167
三 语法规则	183
四 零件源程序实例(图 114)	185
五 操作和使用	187
第五章 程序编制自动化的发展	191
一 会话型自动程序编制	191

二 数控图形系统(图象仪编程法)	202
三 无尺寸图形的数字化系统	206

第一章 概 述

用数控机床加工零件有很多优点,它有较高的生产率,较短的生产周期;对工人的技术熟练程度要求较低,易于保证更高的加工精度等。同时在普通机床上很难加工或根本不能加工的零件,如:非圆齿轮、劈锥等,用数控机床就能很容易的加工出来。它对单件小批生产零件的加工自动化,对新产品试制,对复杂曲面零件的加工真是显示出了它的特殊才能。但是在数控机床上加工零件的过程是怎样的呢?在拿到零件图纸以后,怎样才能使数控机床把零件加工出来呢?我们看图 1。

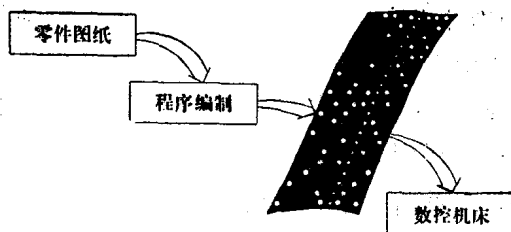


图 1 数控机床加工零件的过程

当拿到零件加工图纸以后,首先要根据图纸的要求,结合数控机床指令系统,给这个零件编制加工程序,并把相应的信息送给机床,机床才能按照加工程序的规定,加工出零件

来。数控机床所以能加工出各种各样形状、不同尺寸和精度的零件来,就是因为有不同的加工程序。所以程序编制是数控机床使用中一个极为重要的问题。

那么什么是程序编制呢?为了说明这个问题,我们还是从大家熟悉的普通机床谈起。在普通机床上加工零件时,通常要编制工艺卡,在工艺卡上规定每道工序的次序和加工用量,生产者按照工艺卡上规定的“程序”加工零件;在自动车床上加工零件时,要先给这个零件作好凸轮,零件的加工过程,按凸轮规定的“程序”进行;在靠模机床上加工零件时,必须先给这个零件作好靠模,机床便可自动的按靠模规定的形状加工出零件来。

对于数字控制机床来说,就是把零件的工艺过程和工艺参数等信号以及位移量的数据,记录在数控机床所需的控制介质上。这里所说的控制介质包括穿孔带、穿孔卡、磁带、开关板等,目前我国常用的控制介质是穿孔纸带,因此以后均以穿孔纸带为例说明程序编制问题。

由上述可知,从有了零件图纸以后到获得数控机床所需控制介质的全部过程称为程序编制。

数控机床程序编制方法目前有两种:一种是手工程序编制,一种是自动程序编制。手工程序编制的过程如图2所示。由图2可知,手工程序编制可分为以下几个步骤:

① 根据零件图对零件进行工艺分析,在分析的基础上确定零件的加工路线和加工用量等工艺参数。因此这一阶段称工艺处理阶段。

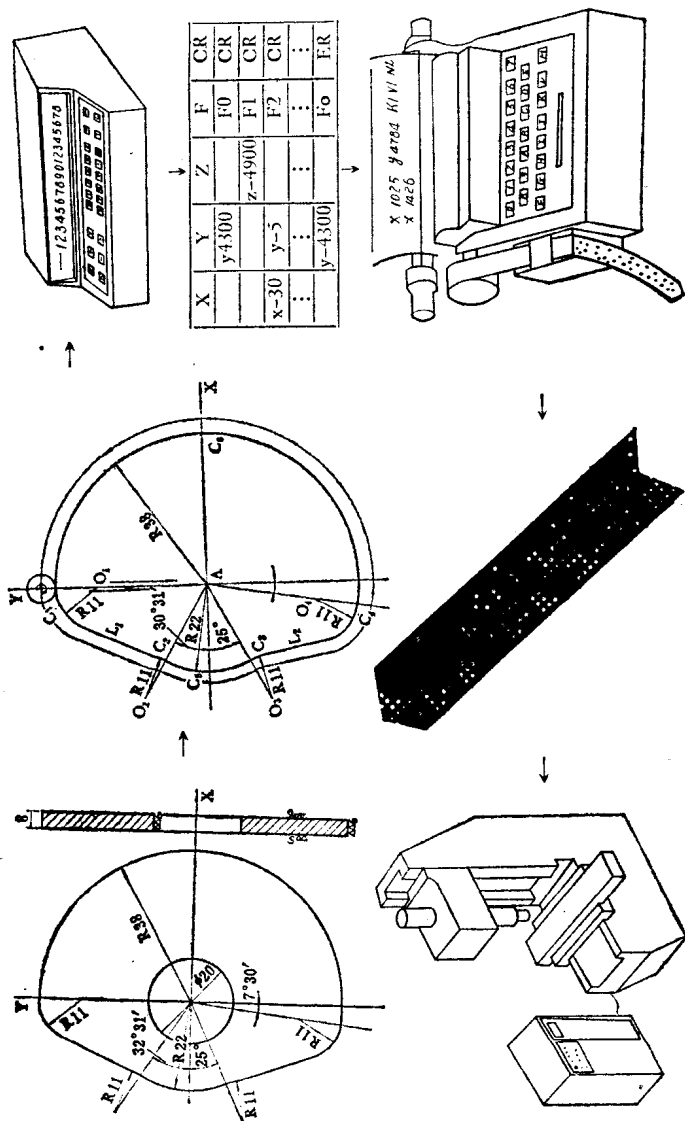


图2 手工编程过程

② 根据零件图及所确定的加工路线和加工用量,计算出数控机床所需的输入数据,这一步通常称为数值计算,也称数学处理阶段。

③ 编写零件加工程序单。根据加工路线计算得到的数据以及加工用量等,结合数控机床的指令代码,编写零件加工程序单。

④ 制作纸带。按程序单在键盘穿孔机上穿孔,以便得到数控机床所需输入纸带。

程序编制工作中,加工路线和工艺参数的确定与普通机床有些类同,在程序单编写中机床的起停、冷却液开关,主轴速度,进给速度,刀具选择,以及程序带的制作是一些细致的工作,懂得机械加工工艺的人是能够胜任的。而数值计算部分,除了繁琐、易错而外,还需具备一定的数学知识。

数值计算的复杂程度取决于零件的复杂程度和数控装置的功能。对于点位控制的数控机床,往往不需数值计算。如果零件图纸的坐标系与数控机床的坐标系不一致,只要经过简单的坐标变换就能满足要求。对于轮廓控制的数控机床,在零件形状比较简单(如由直线和圆弧组成的平面零件),而控制装置的插补功能又与零件形状相符,并能实现刀具半径自动偏移计算(如直线和圆弧的插补系统并且有刀具半径自动偏移功能)时,数值计算也比较简单。这时用普通的手摇计算机、电动计算机或台式计算机,计算出零件轮廓的相邻几何元素的交点或切点的坐标值(如直线的起点和终点、圆弧的起点、终点和圆心的坐标值)就能满足要求。

当零件形状比较复杂或零件形状与数控装置插补功能不一致时,都需要较复杂的数值计算过程。比如,由二次曲线组成的零件轮廓,在用具有直线插补功能的数控机床加工时,除了要计算组成该零件相邻几何元素的切点和交点外,还要用直线逼近组成零件轮廓的所有几何元素,即用一个多边形来逼近零件轮廓(图3),而且逼近误差要小于允许值。同时要计算出刀具中心轨迹。对于用球头刀加工立体曲面的零件时,还必须求出球头刀球心的轨迹。上述的数值计算过程往往要在通用计算机上进行。这时数控机床程序编制员要提供数值计算的

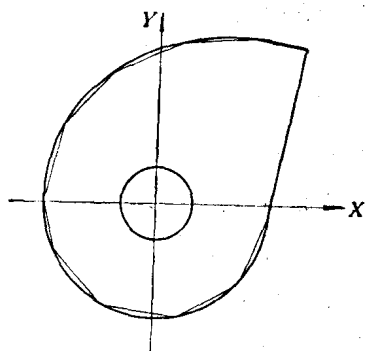


图3 用直线逼近零件轮廓

原始数据和原始方程式及各计算步骤方程式。通用计算机的程序员编写计算机的计算程序,然后将计算结果交给数控机床程序员进行数据处理和填写程序单。在有条件的地方,数控机床的程序员可以编写计算机的计算程序。

由上述可以看出,手工程序编制是很繁琐、复杂而且容易出错,其原因是:

① 图纸上给出的零件形状数据是比较少的,而机床数控装置的插补功能要求有较多的数据才能控制机床。尤其是当数控装置插补功能要求输入的数据与零件轮廓给出的数据不一致时,必须进行复杂的数学运算,在运算过程中可能产生人

为的错误。

② 在加工成型零件时，图纸上给出的是零件轮廓，而机床实际控制的是刀具中心轨迹，因此有时要计算出刀具中心轨迹的数据，这个计算过程也比较复杂。在有刀具偏移功能的数控装置中，要使用一些指令实现刀具的自动偏移。这些指令在使用中也很复杂，容易产生错误。

③ 在零件形状以抽象的数据表示以后，就失去了明确的几何形象，在处理这些数据时容易出错，而且错误不便查找。特别是对大型复杂零件，数据很多，穿孔、校对数据和纸带的工作量很大，也很繁琐。

此外，在手工编程时，程序员必须对所用机床和控制置、对编程所用到的各种指令和代码都非常熟悉。这对于编制单台数控机床程序时矛盾还不突出，可以说不太会出现代码弄错的问题。但是，当一个程序员负责几台不同的数控机床程序编制工作时，他就必须同时对这几台数控机床有所了解。由于数控机床所用指令代码、座标及其它一些编程规定往往不一样，所以就增加了程序员的困难，在编程时由于互相混淆出错的可能性增加了。

一个长 700 毫米，宽 150 毫米的中等复杂程度的零件，用手工编程时，两个人要化三个多星期的时间，而且稍一疏忽就会出错，而这个零件在数控机床上的加工时间仅仅几十分钟。据国外报导，一般程序编制时间与机械加工时间之比为三十比一，因此大约两台数控机床就要配备一名程序员。由于手工编程的工作量大，甚至在不能开动的数控机床中有 20~30%

的原因是由于程序编不出来而耽搁的。这样,数控机床的程序编制问题就成为数控机床发展和推广使用中一个急待解决的问题。因此在数控机床出现不久,人们就开始研究自动编制程序的方法。

最初,人们用计算机代替手工编程的方法是通过子程序汇编(建立子程序库)实现的。这些子程序包括求基点(零件相邻几何元素的交点或切点)、节点(按容差将各几何元素用内接多边形或用圆弧逼近时的各连结点)、增量脉冲转换等。人们事先按照零件图纸上可能出现的各种几何元素的基点和节点的求法,编好子程序存入计算机。在编制具体零件程序时,根据具体图纸要求,人工进行编辑,这样就简化了计算过程和时间。显然这时还要人们作手工编程中的其它各项工作。

随着计算技术的发展和算法语言的出现,人们开始研究用“语言程序”的方法实现程序编制自动化。这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和顺序及其它工艺参数。通用计算机通过适当的媒介阅读上述的内容,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控制带。同时也可得到数控机床的加工程序单和零件图形或走刀路线图形。这样,程编人员只需使用数控机床的专用“语言”来描写输入给计算机的程序,不再参与计算,编写程序单和制作纸带的工作。因此程编工作量小,也简单明晰,减轻了程编人员的劳动量,避免产生错误,加快了程编速度,提

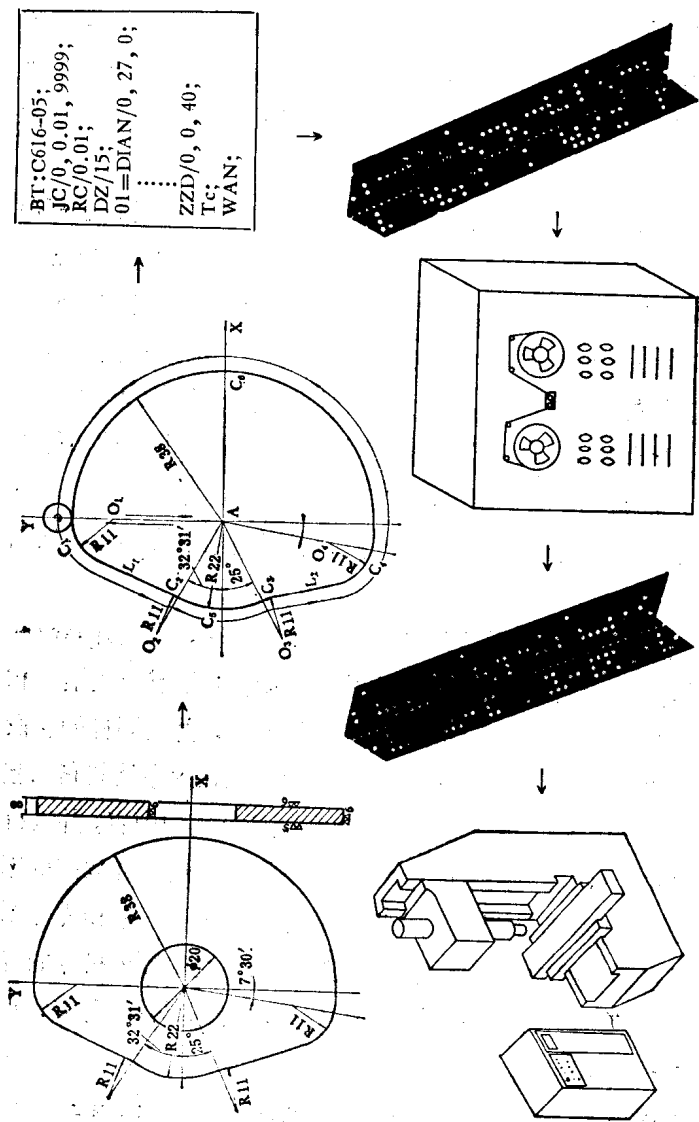


图 4 自动编程过程

高了程序编制的计算精度。

采用语言程序实现程序编制自动化的过程如图4所示。

编制零件加工程序时，应首先将零件欲加工部分进行工艺分析，确定工艺过程，如加工顺序、装卡、定位、所用刀具等。然后按语言程序系统所规定的“语言”和语法编写加工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，机床的辅助功能以及整个加工路线，这个程序我们称为零件源程序。应当指出，这里用“语言”写的零件源程序，因为尚未经过计算机的处理，所以它和手工编程时的零件加工程序有本质上的差别。手工编程时的零件加工程序，可以直接拿去制作纸带，这个纸带就是数控机床上用的控制带。而零件源程序好比毛坯，按照它制作的纸带，只能是计算机处理的依据，根本不能拿去控制机床，而计算机对源程序的处理结果才是零件加工程序和数控机床用控制带。

那么为什么电子计算机能够处理零件源程序呢？我们知道电子计算机也是按照人的意志进行工作的。所以，为了能处理源程序，就必须事先针对一定的加工对象，编好一套程序并将其存放到电子计算机内。这个程序我们称为“编译程序”，也就是通常所说的“程序系统”或“软件”。这样，当零件源程序输入计算机以后，就可以按编译程序规定的过程去处理。由此可知，有不同的编译程序就可以处理不同语言的源程序。对数控语言来说，电子计算机通过外部设备可以直接输出数控机床用穿孔纸带、零件加工程序单和零件图形。有时则先把编译系统处理得到的结果程序用打印或记带（磁带）输出，

然后通过专用的转换设备穿孔或人工穿孔。

显然,程序员应首先熟悉程序系统规定的零件源程序写法,包括语言和语法,并要了解数控机床的程序编制要求。当编制具体的零件加工程序时,要根据零件加工要求选用标准的或已有的工夹具,或重新设计工夹具。然后编写好零件源程序,再按零件源程序制作好零件源程序带。

和手工编程比较,自动编程主要通过电子计算机完成编程工作,它使用了两种程序,一种是用语言写的零件源程序,另一种是处理零件源程序的编译程序。正是由于有了电子计算机和这么两种程序,才使得手工编程的大量计算工作,制带中的大量手工操作及程序和纸带的校对工作不必由人来完成。但是一套编译程序要投入很多人力,花费很长时间。例如,编一套连续加工的编译程序常常要花费上百个人年。当编译程序搞好后就能长期使用,并在每次编写零件源程序时,只需很少时间,它省去了大量计算和手工操作,并减少了出错机会,对编程人员的技术要求也降低了。

对自动编程语言和编译系统研究最早的国家是美国。1952年美国出现第一台数控机床,1953年美国麻省理工学院(MIT)伺服机构试验室在美国空军资助下开始研究程序编制自动化问题,并在MIT旋风I型电子计算机上实现了。研究成果于1955年公布,即APT系统(Automatically Programmed Tools)。这是一个试验性系统。随后美国航空空间工业协会(AIA)又组织了有关工厂企业和大学进一步研究发展APT系统,1961年搞出了APT_{III}。同时成立了一个APT

长期发展规划机构 (ALRP)。这是一个世界性机构,它接受会员,交流研究成果,推广使用,搞标准化,培训人员等。这一机构由伊利诺斯理工学院 (IITRI) 经管。到了七十年代,一个被称为计算机辅助制造的国际机构 (CAM-I) 成立了,它取代了 ALRP,后来它发展了 APT_{IV} 系统。

APT 系统主要用在铣床的连续加工,也可用在点位加工的自动编程系统。它是一个功能比较大的系统,能适应多座标机床加工复杂的空间型面,它的语言词汇较多,定义的几何类型也较多,因此它要求一个大型电子计算机,现在已有许多计算机配有这种系统。在美国除了 APT 系统以外,还发展了一些比较灵活的,针对性较强的小型自动编程系统,如 ADAPT,主要为点位加工服务的 AUTOSPOT,具有更加专用特性的语言 SPLIT,以及专供分时用户使用的语言 COMPACT_{II} 等二十多种。

西欧和日本在这方面的发展较美国晚些,他们大都是在引入美国技术的基础上发展起来的,但发展也较快,现在均有自己独立的系统和语言。如英国的 2CL,是英国国家工程试验室发展的,既能用于点位,又能用于连续加工的系统。西德的 EXAPT 系统在欧洲很有名,它分成三种: EXAPT₁ (点位), EXAPT₂ (车床), EXAPT₃ (连续加工)。法国发展了 IFAPT。日本发展了 FAPT, HAPT 等。

苏联在这个领域内相对来说比较落后一些,近几年来开始注意发展,据报导他们也发展了 APROKS, TECHNOLOGIST-67 和 SAP-2 等系统。

现将各国使用中有代表性的系统列于表1中。

表1 各国使用自动编程系统(有代表性的)

名 称	研 制 者	所用计算机	适 用 范 围	
			数 控 装 置	座标数
APT _{III}	MIT(美) 美空军	IBM7090 (256K)	通 用	3~5
APT _{IV}	ITRI	各种	通 用	3~5
ADAPT	IBM(美)	IBMS/360F	连 续	2
AUTOSPOT	IBM(美)	IBMS/360E	点位,直线	3
AUTMAP-I	IBM(美)	IBM1620	连 续	2
EXAPT _I	EXAPT 协会 (西德)	各种	点 位	3
EXAPT _{II}			车床,连续	
EXAPT _{III}			连续,二座标联动	
2C	NEL(英)	各种	连续,主要车床	2
2CL			连 续	3
2PC			点 位	3
IFAPT _{-p}	ADEPA(法)	56K 容量 计算机	点 位	3
IFAPT _{-c}			连 续	
IFAPT _{-cp}			点位,连续	
FAPT	富士通(日)	FACOM270-10	连 续	2½
HAPT	日立(日)	HIT-AC3020	连 续	2

我国在发展自动编程方面虽然比较晚一些,但是近几年来,随着数控加工技术的发展,对自动编程的要求已提到日程上来。经过工厂研究机构 and 高等学校的共同努力,我们已经