

数控机床程序编制

北京机床研究所

1977. 6.

前 言

数控机床程序编制是为数控机床程序编制短训班写的讲稿。主要对象是具有一定数学基础知识和工艺基础知识，准备从事数控机床编程工作的工人和技术人员。

本书主要介绍数控机床编程中的基本概念和常用的方法。在尽量照顾到各种数控机床编程特点的同时，力求内容简短，以便争取在一个月左右时间内把内容介绍完了。

考虑到参加短训班的大部分同志来自生产实际，对机械加工工艺比较熟悉。因此，本书着重介绍数控机床加工工艺的特殊性和计算方法等内容。

参加短训班的同志，通过学习以后，应对数控机床编程有一个基本的了解，为今后从事这方面的工作打下一个初步基础。

由于编者的思想水平和业务水平的限制，书中错误在所难免，深望读者批评指正。

编者

1977年6月

目 录

第一章 程序编制的基本概念	1
第一节 什么是程序编制	1
第二节 程序编制的内容与步骤	2
第三节 程序编制的分类	8
第四节 手工编程的应用范围	13
第二章 程序编制中的工艺处理	20
第一节 装卡方法和对刀点	20
第二节 确定加工路线	22
第三节 选择刀具和确定切削用量	25
第四节 程序编制中工艺指令的处理	23
第五节 程序编制中的误差问题	31
第三章 数值计算	35
第一节 采用一次插补法加工平面曲线轮廓 的零件的数值计算方法	36
第二节 采用直线—圆弧插补法加工平面曲 线轮廓零件的数值计算方法	45
第三节 三坐标立体型面的零件的数值计算 方法	56
第四节 具有刀具偏移功能的数控系统中的 尖角过渡和切入程序中的有关数值 计算问题	66

第四章	列表曲线轮廓零件的数学处理	81
第一节	牛顿插值法在列表曲线轮廓零件程序编制中的应用	82
第二节	双圆弧法在列表曲线轮廓零件程序编制中的应用	88
第三节	样条函数在列表曲线轮廓零件程序编制中的应用	96

第五章	编写程序单和制作纸带	104
第一节	数控程序的纸带编码	104
第二节	程序段格式	108
第三节	数控机床坐标轴和运动方向	120
第四节	纸带正确性检查	123

第六章	编程实例	125
第一节	在配有 SK 3201 数控系统的数控机床上加工零件	125
第二节	在配有 SK 2303 数控系统的数控铣床上加工零件	135
第三节	在配有 B1K 221 A 数控系统的数控铣床上加工零件	145
第四节	在配有 SK-251 数控系统的铣床上加工零件	157
第五节	JCS-013 数控自动换刀卧式镗铣床的程序编制说明	165

第七章	ZCX-1 语言程序	182
第一节	零件源程序	182
第二节	语句的基本成分	187
第三节	几何定义语句	189
第四节	计标参数语句	207
第五节	后置处理语句	209
第六节	运动语句	210
第七节	其它语句	216
第八节	程序和零件源程序例	223
第九节	ZCX-1 系统概貌	232

第一章 程序编制的基本概念

数字控制机床是近二十多年来发展起来的一种新型的自动化机床，它对复杂型面零件的加工，对单件、小批生产的自动化都具有重要的作用。

科学的发生和发展都是由生产决定的。五十年代初期，航空工业、船舶制造，武器生产等工业部门要求加工形状比较复杂，改型频繁，精度较高的一类零件。这类零件的加工，靠过去传统手工操作，不但劳动强度大、周期长，而且精度不容易保证。有些复杂零件，手工操作已无能为力了，生产中的要求推动着机械加工方法和机床设备迅速作出相应的改变。

随着近代计量技术，自动控制和精密测量等科学技术的发展，就出现了适应生产要求的新型自动化机床——数控机床。

我们知道数控机床同其它各种自动化机床的一个显著区别，在于当这种机床加工对象改变时，除了重新装卡零件和更换相应的刀具外，只需更换一个新的介质（如穿孔卡，穿孔带，磁带等），机床就可以自动地加工出新的零件，而不必对机床作任何调整。因此，数控机床对于品种改型频繁，新产品试制优越性更为突出。

对于在数控机床加工零件来说，首先必须根据零件图纸得到一条控制带，将这个控制带上的信息送给数控机床，数控机床才能加工出来零件。因此获得数控机床加工零件的控制带就成为数控机床使用中一个极为重要的问题。

第一节 什么是程序编制

在普通机床上加工零件的过程，通常编写在机械加工工艺规程或工艺卡片上。操作者按照工艺卡片规定的“程序”加工零件。

~2~

件。在自动机床上加工的过程规定在凸轮或靠模上，机床便可自动地按凸轮或靠模规定的“程序”加工另件。

所谓“程序”就是机床加工另件时的运动先后次序和运动位移量。普通机床上工艺卡片中工艺过程和工艺参数的确定；自动机床上凸轮或靠模形状的确定，都是编制相应的程序。

在数控机床上加工作件时，则把要加工另件的全部工艺过程，工艺参数和位移数据，以信息的形式记录在控制介质上。用它来控制机床，实现另件的全部加工过程。在这里，我们将从另件图纸到获得数控机床所需控制介质的全部过程，称为程序编制（图1—1）。

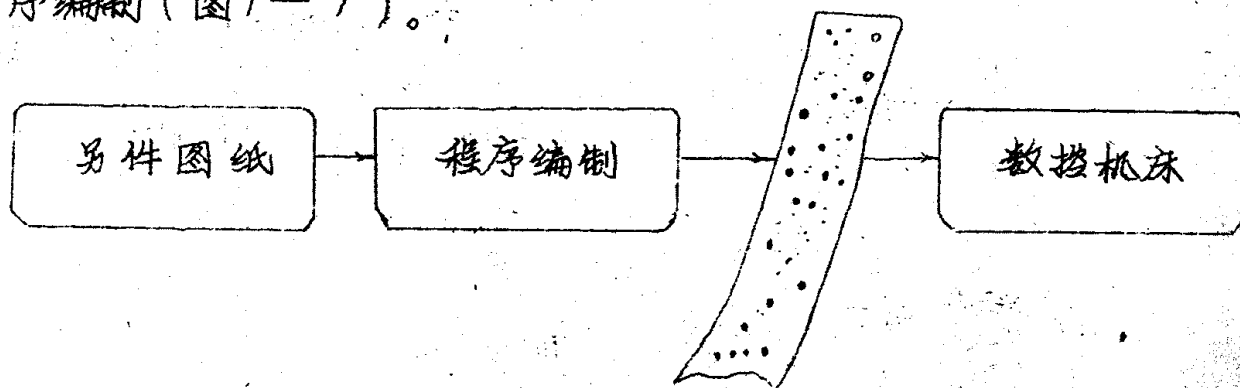


图 1—1

记录工艺过程，工艺参数和位移数据的表格称为“另件加工程序单”，或简称“程序单”。它是制作控制介质的依据。

第二节 程序编制的内容与步骤

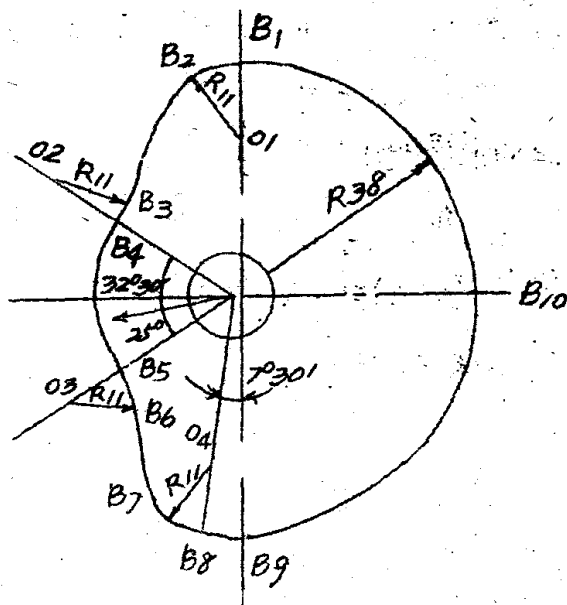
在编程时，要有具体的另件图纸，并在具体的数控机床上加工该另件，有时可能有几台数控机床可供选择。

为了说明编程工作包括那些内容，我们以在数控机床上加工图1—2所示另件为例加以说明。

1. 首先要分析另件图纸，分析另件的形状，尺寸和精度要求。有时还要确定该另件是否适宜在数控机床上加工或适宜在

那台数控机床上加工。这了
分析工作是以后各项工作的基础。

图1-2是由直线圆弧组成的
的另件,最适宜在有直线圆弧杆
补器并具有刀具偏移功能的
数控床上加工。图中所给尺
寸精度为 ± 0.05 并且没有淬火,
因此可用铣床一次加工达到
精度要求。



- 注: 1. 另件厚度 $B = 8$ 毫米
2. 尺寸精度: ± 0.05 毫米
3. 材料: 45 #

图 1-2

2. 确定工艺过程
在另件图纸分析的基础
上, 确定另件的加工方法(如
采用的工夹具, 装夹定位方
法) 和加工路线(如对刀点,
走刀路线), 并确定加工用量等工艺参数(如走刀速度, 主轴转
速和方向, 切削深度等)。

在编写程序单时, 还必须进行某些辅助的工艺处理, 如机
床起停, 冷却润滑液的开关和刀具选择等。

图1-2的另件可用芯轴定位另件中心孔A, 以螺帽夹紧。
采用 $\phi 20$ 平底立铣刀加工, 夹具选用通用夹具, 芯轴尺寸等于
孔的尺寸, 垫片形状与另件形状相同, 但稍小。加工时以中心
孔作为对刀点, 然后沿图1-3 箭头所示路线加工, 最后回到
对刀点。主轴转速 $n = 985$ 转/分, 快速进给速度采用 $F = 300$ 毫米/分,
切削进给速度 $F = 50$ 毫米/分。由于毛坯已在普通铣床上用划线加
工出粗轮廓, 因此一次走刀成型。

3. 设计工夹具

数控机床加工所用工具夹具大都是通用工具夹具，因此大多数情况下编程人员只是选用。对于专用的工具夹具需临时设计。

加工本例的另件，只需设计一丁垫片，垫片的尺寸小于另件形状，有一丁中心孔 $\phi 20$ ，两端面磨平行。

4. 数值计标

根据另件图纸和确定的加工路线标出数控系统所需输入的数据。

数值计标的复杂程度取决于另件的复杂程度和数控系统的功能。对于点位控制的数控机床，往往不需数值计标。如果另件图纸的座标数据与数控系统要求输入的数据不同时，只需经过简单的换算就能满足要求。对于轮廓控制的数控机床，在另件形状比较简单，例如由直线和圆弧组成的平面另件，而控制系统的杆补功能又与另件形状相符，并能实现刀具半径自动偏移这样，例如是直线圆弧杆补器并具有刀具半径偏移功能时，数值计标也比较简单。这时用普通机械计标机或具有加、减、乘、除、乘方、开方、三角函数运算功能的小型台式计标机，计标出另件轮廓的相邻几何元素的交点或切点（如直线的起点和终点，圆弧的起点，终点和圆心）的座标值就能满足要求。

当另件形状比较复杂，并与数控系统的杆补功能不一致时，都需要较复杂的数值计标过程。比如由二次曲线组成的另件轮

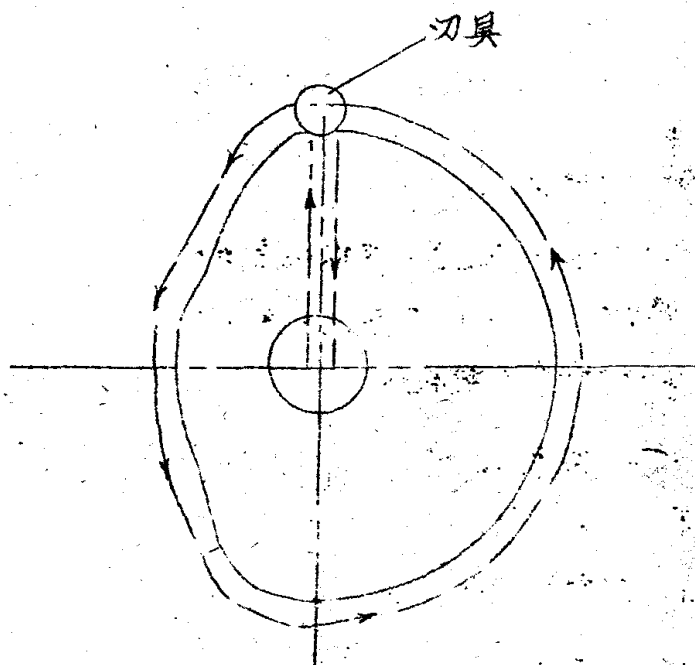


图 1-3

廓，用直线杆补功能的数控机床加工时，除了计标组成该另件轮廓相邻几何元素的交点和切点外，还要用直线逼近组成另件轮廓的所有几何元素，即用一多边形逼近另件轮廓(如图1-4)，而且逼近误差小于允许值，同时要计标出刀具中心轨迹。对于用球头刀加工立体曲面另件时，还必须求出球头刀球心的轨迹，因此要借助于通用电子

计标机完成计标工作。这时另件程序编制员应提供数值计标的原始数据或原始方程及各计标步骤方程式，通用机的程序员要根据这些数据 and 方程编写计标机的计标程序，然后将计标结果交给另件程序员。在有条件的单位，另件程序员可以编写计标机的计标程序。

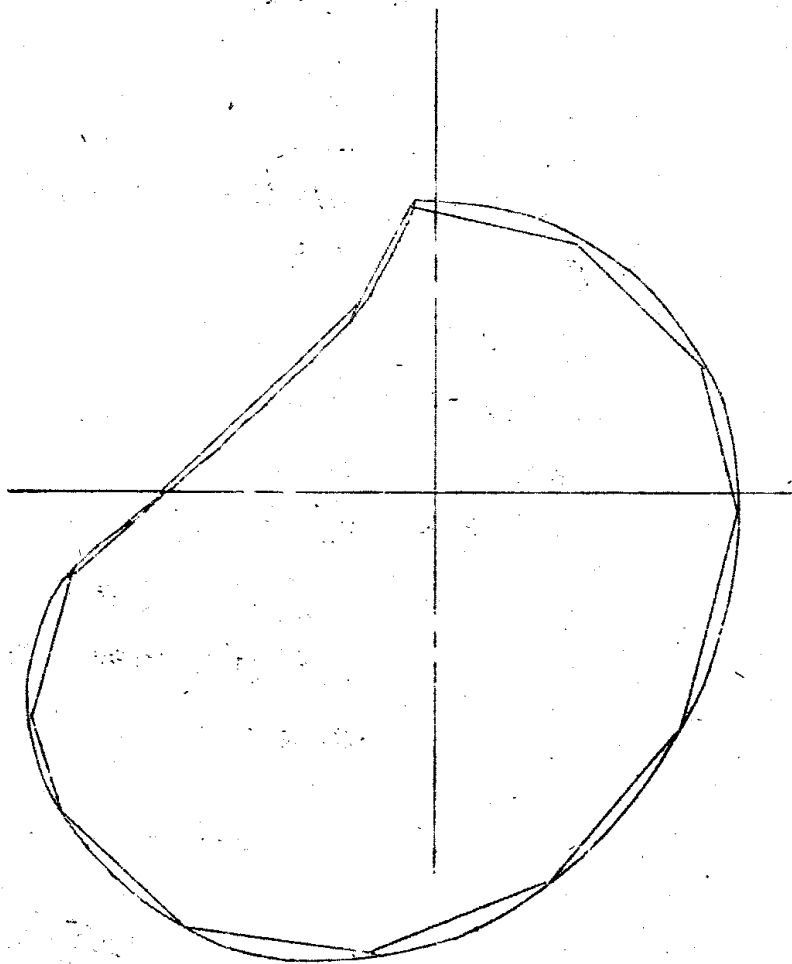


图 1—4

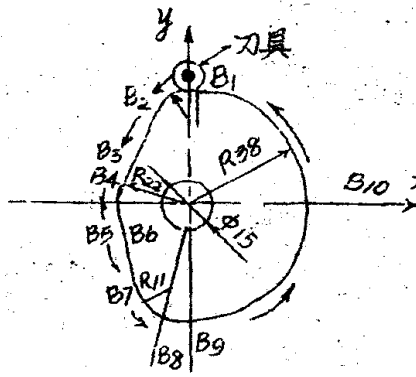
图1-2所示另件在二次杆补，具有刀具偏移这称的数控机床上加工时，只要按照加工路线标出基点和圆弧的圆心，即 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8$ 和 O_1, O_2, O_3, O_4 各点坐标值。并按增量系统要求，标出直线终点相对起点的增量，圆弧起点和终点相对圆心的坐标增量，最后转换成脉冲数。这个计标过程最好用计标器协助。

5. 编写程序单

根据加工路线计算出来的数据以及确定的加工用量等，按数控系统规定的输入信息要求编写零件加工程序单。这是制备纸带的依据。

在编写程序单时要了解数控机床加工零件的过程，以便填入必要的工艺指令，如机床故障，计划停车等。

图1-2所示零件的程序单如表1-1所示。

表 1-1	程 序 单	No 1
1. 零件名称: C616 普通车床凸轮 2. 图 号: 05102 3. 刀具直径: $\phi 15$ 立铣刀 4. 主轴转速: 985 转/分 5. 切削速度: 46 米/分 6. 进给速度: $F_1=200$ 毫米/分; $F_2=80$ 毫米/分; $F_3=150$ 毫米/分。 7. 机 床: 三坐标立式铣床, 数控系统具有圆弧—直线插补功能, 并能自动实现刀具半径偏移坐标。		
 加工示意图 对刀点—A点, 刀具下端距零件最低面为48毫米, 并考虑1毫米的超越值。		

6. 制备穿孔带

按程序单在键盘穿孔机上穿孔，以便得到数控系统所需输入的纸带。

7. 校对、校验程序纸带

检查由于人工或机器造成的纸带错误（如多穿，少穿和误穿信息，由于穿孔机不可靠而造成的多孔或少孔等情形），或者由于计标或编写程序单方面造成的错误。

这一工作可能是花时间或麻烦的，但是非常必要的。

对图 1-2 所示零件，可以校对计标数据是否正确，对照程序单和穿孔带的一致性，最后可用划线法在机床上划出零件轮廓形状。

8. 首件的试加工

纸带校验后，还必须在机床上试加工。如果加工出来的零件不合适，还要修改纸带或重新制作纸带，直到满足零件图纸要求为止。因此首件试加工是程序员必须参与的工作。

必须指出，数值计标是程序编制工作中的最重要组成部分，特别是对那些比较复杂的零件来说更是如此。

由上述可知，程编人员除必须具备数控技术知识，熟悉所用数控机床的性能及其输入系统的要求外，还必须具备机械加工工艺知识和必要的数学运算能力。

按程序编制的内容来说，程序编制就是：根据零件图纸，对零件进行工艺分析；在分析的基础上确定加工路线、加工用量等工艺参数；然后根据零件图纸和加工路线进行数值计标；在分析和计标的基础上，编写程序单；最后按程序单穿孔制作纸带。

第三节 程序编制的分类

上节介绍了程序编制的八丁内容，也是程序编制过程中的八丁步骤。按实现上述各步骤的不同方法，程序编制可分为以下几类：

1. 手工编程

手工编程亦称人工编程，顾名思义，即处处离不开人。尽管在编程过程中可能采取一些计算工具（如台式计算机等）和纸带正确性检验装置（如绘图机等），但从写称式、计算、记录数据，填写程序单直到手工穿孔等工作都是要人去完成的。也就是由人完成上节介绍的八方面工作。

手工编程是繁琐而复杂的，而且容易产生错误，其原因是：

1) 图纸上给出的另件轮廓数据往往是比较少的，而数控系统要求有较多的数据才能控制机床；特别是数控系统的杆补功能要求输入的数数据与另件形状数据不一致时，都要进行较复杂的数学运算，在这称过程中可能产生人为的错误。

2) 在加工成型另件时，图纸上给出的是另件轮廓，而机床实际控制的是刀具中心轨迹，因此要计算刀具中心轨迹的数据。这丁计算过程也比较复杂。在有刀具偏移功能的数控系统中，要使用一些指令或计算出某些数据，这些指令的使用或计算过程也比较烦琐、复杂，容易产生错误。

3) 在另件形状以抽象数据表示以后，就失去了明确的几何形象。在处理这些数据时也容易产生错误。无论是计算过程中的错误，还是处理过程中的错误，都不便查找。特别是数据量很多的大型另件，工作量大，甚至穿孔时间也很长，也容易穿错，校对数据和纸带工作量也很大。

4) 在手工编程时，程序员必须对所用机床和控制系统，对编程所用到的各种指令、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。

但当一个程序员负责几台数控机床的程序编制工作时，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，两个人要三个多星期时间。这个零件在数控机床上的加工时间仅几十分钟。据国外报导，程序编制时间与机械加工时间之比平均为三十比一。因此大约二台数控机床就要配备一名程序员。由于手工编程工作量大，据国外统计，在不能开动的数控机床中有 20~30% 的原因是因为程序编不出来而耽搁的。

2. 采用适当的自动编程

由于手工编程影响了数控机床的发展和应用，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（零件轮廓相邻几何元素的切点或交点）、节点（按公差将各几何元素用内接多边形逼近零件轮廓或用圆逼近零件轮廓时的各连接点）、增量脉冲转换等子程序。人们按照零件图纸上出现的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，根据图纸要求，临时进行编辑。这样就简化了计算过程，节省了时间。这时还要做手工编程的其它各项工作。

随着计算机技术的发展和标法语言的出现，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

称，然后控制计称机的输出设备，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。这样程编人员只需使用数控机床的专用“语言”来编写输入给计称机的程序。不再参与计称、数据处理、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，提高了程序编制的计称精度。

采用语言程序实现程序编制自动化的过程如图1-5所示。

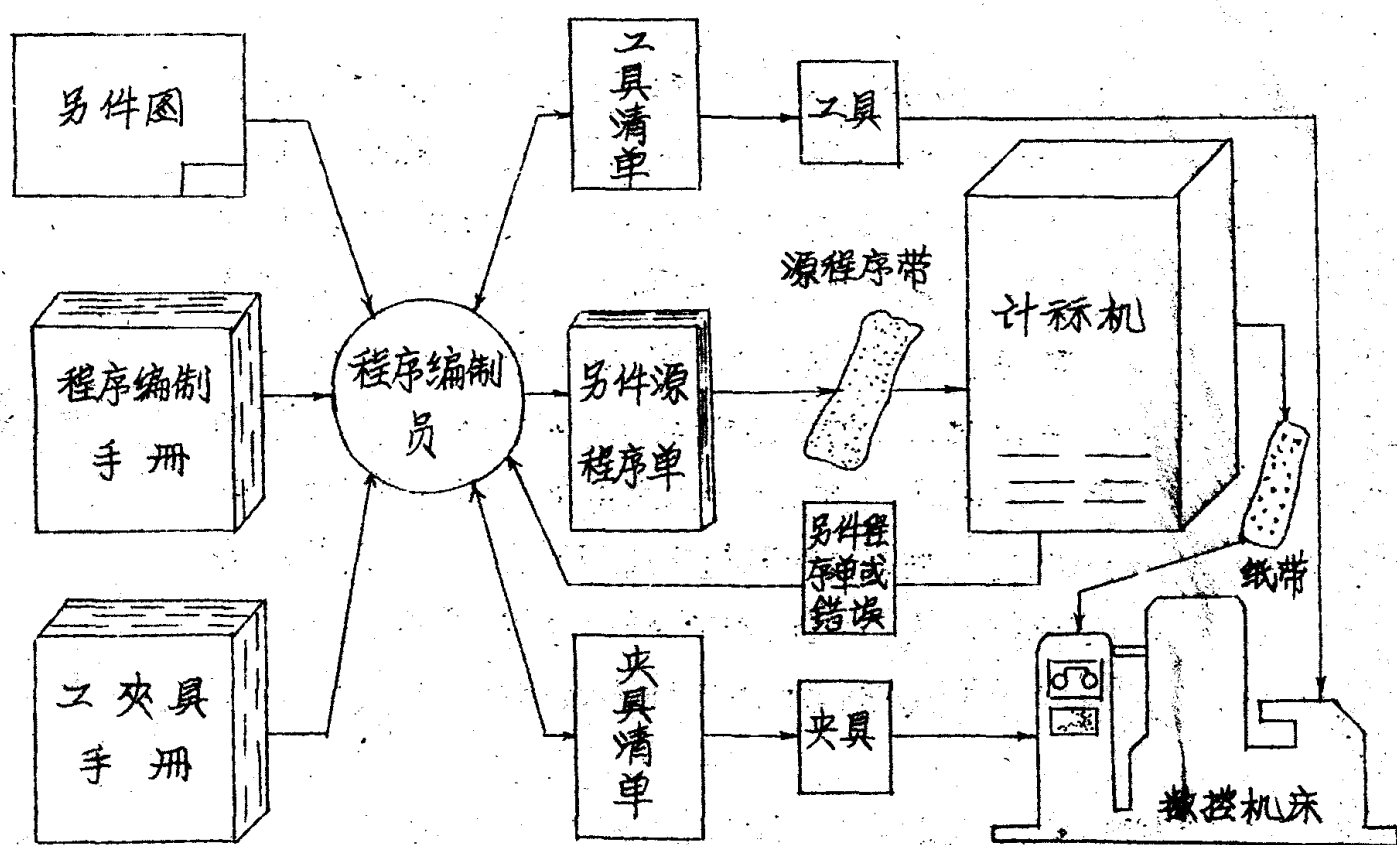


圖 1-5

编程时，同样要对加工零件进行图形分析，确定加工路线，加工方法和加工用量，必要时也要设计工夹具。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；

机床的辅助功能和工艺参数以及整个加工路线，这个程序我们称零件源程序。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所编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。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。

源程序写好后，应该穿孔制备纸带，将这个纸带上的信息送入计算机。

下一步是电子计算机处理零件源程序。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，预先编好一套程序，存放在电子计算机内，这个程序我们称“程序系统”，也称软件。这样，当源程序输入计算机以后，就可按照“程序系统”规定的过程去进行处理，经过处理后的输出程序，才是数控机床所需要的零件加工程序。一般情况下，电子计算机可以直接输出穿孔纸带和零件加工程序单。有时则先把结果程序用打印或磁带（磁带）输出，然后通过专门的转换设备穿成纸带或用手工穿孔。

在计算机配有绘图机时，自动编程时可以绘制零件轮廓或刀具中心轨迹。

由上述可知，自动编制完成了数值计算，填写程序单、制作纸带和纸带的校验工作。但是，较手工编程增加了填写零件源程序单和制备零件源程序带的工作。这两项工作与手工编程的填写加工程序单和制备控制带比较起来要简单得多，工作量小得多。

显然，程序员除了熟悉数控机床的程序编制要求外，还要熟悉“语言程序系统”的零件源程序的写法，包括“语言”和“语法”。但是，由于自动编程降低了对程序员的技术要求，特