

编著

戴有虎
忻可闻

李福生
阎茂林

数控机床程序编制 ——自动编程



机械工业出版社

数控机床程序编制

——自动编程

李福生 戴有虎 编著
阎茂林 忻可闻



机械工业出版社

本书是《数控机床程序编制——手工编程》的续篇，讲的是数控加工的自动编程。

本书全面、系统地介绍了我国研制的几种数控编程语言（数控语言），包括点位编程、车削加工编程、平面零件铣削加工编程、飞机结构件铣削加工编程、组合曲面零件铣削加工编程、数控线切割机编程等，还介绍了数控编程语言和数控程序系统的基本概念、发展历史和发展动向。

本书可供从事数控加工的编程人员以及从事数控自动编程研究的工程技术人员阅读，亦可供高等学校有关专业教学参考。

数控机床程序编制

——自动编程

李福生 戴有虎 编著
阎茂林 忻可闻

责任编辑：冯 铤 责任校对：杨淑惠
封面设计：刘 代 版式设计：罗文莉

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $11^{5/8}$ · 字数 257 千字
1988年8月北京第一版·1988年8月北京第一次印刷
印数 00,001—4,200 · 定价：2.80元

ISBN 7-111-00488-4/TG · 129

前 言

《数控机床程序编制——自动编程》是《数控机床程序编制——手工编程》的续篇，讲的是数控加工的自动编程语言（数控语言）。

简便、经济、快速、正确的编程方法，是数控技术发展和应用的关键。因此，数控机床一出现，就吸引着数控加工者们对编程方法的研究。

随着数控技术在我国工业生产中的应用，自60年代中期起，我国就开始研究数控自动编程方法，现在已有几个实用的数控语言在工业生产中应用，并且数控语言的种类比较齐全。本书介绍我国研制的几种数控语言，包括点位编程、车削加工编程、平面零件铣削加工编程、飞机结构件铣削加工编程、组合曲面零件铣削加工编程、数控线切割机编程等语言，还介绍了数控语言和数控程序系统的基本概念、发展历史和发展动向。

第一章是全书的准备知识，其余各章分别介绍各种数控语言。限于篇幅并避免重复，后面各章略去了前面几章的相同部分，或只作了简要的说明。

本书承唐勇同志作了细致的审校工作，提高了本书质量。另外，许多同志为本书提供了有关数控语言的使用手册等原始资料，对此一并表示深切的谢意。

由于我们的思想水平和业务水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第一章	数控自动编程	1
第一节	基本概念	1
第二节	数控语言	6
第三节	数控编程系统	58
第四节	数控自动编程的研究和发展	67
第二章	点位编程	83
第一节	DWX—1数控语言	83
第二节	DWX—1数控语言使用	103
第三章	车削加工编程	116
第一节	CKY—1数控语言	116
第二节	CKY—1数控语言使用	155
第四章	平面零件铣削加工编程	161
第一节	ZBC—1数控语言	162
第二节	ZBC—1数控语言使用	200
第五章	飞机结构件铣削加工编程	211
第一节	SKC数控语言	212
第二节	零件源程序的编制与错误诊断	284
第六章	组合曲面零件铣削加工编程	293
第一节	CAM数控语言	295
第二节	零件源程序实例	336
第七章	数控线切割机编程	344
第一节	ZBC—2数控语言	345
第二节	上机操作	359

第一章 数控自动编程

第一节 基本概念

数控机床业已应用于我国的工业生产。对于零件形状复杂、加工对象经常变换、生产批量小的现场条件，采用数控加工，是快速、经济且易于保证加工质量的理想方法。

数控加工要有一个根据零件图纸等原始条件编制而成、用于控制数控机床的“数控带”。从零件图纸到获得数控带的全过程，称为“程序编制”。由此可见，程序编制的任务就是为了得到数控机床加工零件的数控带。

数控加工程序编制方法主要有两种：手工编程和自动编程。手工编程也称人工编程，即由人来完成零件加工程序的编制。它的主要内容有：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和工艺参数；根据零件图纸上给出的形状和尺寸，计算数控机床所需输入数据；根据计算得到的数据及确定的加工路线，结合数控机床的指令代码、程序段格式，编写零件加工程序单；最后按程序单在键盘穿孔机上穿孔，制作数控带。

程序编制是数控加工技术的重要方面。国外认为，数控机床的成本和为它编制程序的费用是可以相提并论的。因此，质量高、速度快的编程方法，一直是和数控机床的本身并行发展的。

对于一些形状简单的零件，采用手工编程是容易实现的。但是对于形状比较复杂的零件来说，由于其手工计算时

的工作量很大，随之而来的穿孔和校对工作量也很大，而且也极易出错，在此情况下，采用手工编程几乎就不可能。

手工编程的时间与数控加工时间之比为 30 : 1，因此大约两台数控机床就要配备一名手工编程人员。据国外统计，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。显然，这对于数控加工技术的推广应用是一个障碍。

随着计算技术的发展和算法语言的出现，人们开始采用电子计算机来代替手工编程中的手工操作，也就是用“语言程序”的方法实现自动编程。

自动编程需要按规定的一套“语言”及其格式，把加工零件的有关信息（如零件的几何形状、材料、加工要求或切削参数、走刀路线、刀具等）通过适当的媒介（如穿孔带、穿孔卡、磁带、键盘等）输入到电子计算机中去，然后由电子计算机通过预先存入的数控程序系统（数控软件系统）对其进行处理，最后直接得到数控机床所需数控带。亦可通过接口去控制机床。图 1-1 所示为自动编程过程的示意图。

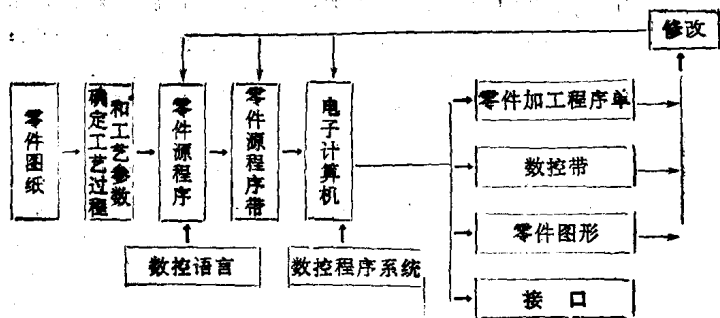


图 1-1

由上述可知，数控编程系统由数控编程语言(数控语言)

和数控程序系统（数控软件系统）两部分所组成。

和算法语言类似，数控语言也是由基本符号、语法和语义几部分构成的。数控语言中的基本符号是语言中不能再分的成分，语言中的其它成分都由基本符号组成，如A、B、C、……X、Y、Z 26个英文字母，0、1、……9十个数字及标点符号、算术运算符号等。数控语言中的语法就是一些规则。用这些规则可以判断任一由基本符号连接起来组成的符号序列是否为语言中的合法成分，如标识符、算术式、数、词汇等。由基本符号和语言的合法成分按语法规则构成的语句，具有特定的语法意义，完成固定的功能，这就是语义。

数控语言中的语句接近于一般常用的工艺用语。由这些语句按照程序格式组成零件源程序时，编写起来非常简单、方便，编写出来的零件源程序也非常直观、易懂。

零件源程序是计算机处理的原始依据，它包括有一个完整的加工过程所需的全部信息，满足规定的语句格式和程序格式。

数控程序系统也称数控软件系统，是根据数控语言的要求，结合所用计算机，由人工编好的一套

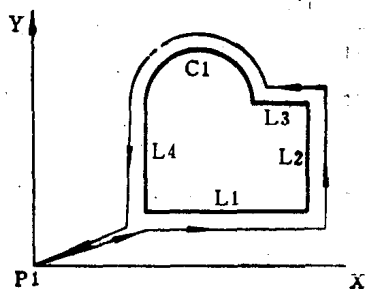


图 1-2

程序，它能识别和处理相应数控语言编写的零件源程序。显然，数控语言不同，数控程序系统和源程序的内容及格式也不同。图1-2所示的零件，用APT型数控语言书写的零件源程序如表1-1所示。

表 1-1

序号	语 句	说 明
1	标题: 试验件	给出零件的名称或代号
2	机床/0, 0.01, 9999;	数控机床是直线插补器(0), 脉冲当量0.01, 计数容量9999
3	容差/0.01;	允许编程误差0.01mm
4	刀具/10;	计算刀具轨迹时, 刀具直径10mm
5	P1=点/0, 0;	定义点P1的坐标: $x=0$, $y=0$
6	L1=直线/20, 10, 50, 10;	定义直线L1是过点(20, 10)和点(50, 10)的直线
7	L2=直线/Y等于, 50;	定义直线L2是 $y=50$ 的直线
8	L3=直线/X等于, 30;	定义直线L3是 $x=30$ 的直线
9	C1=圆/30, 30, 10;	定义圆C1是圆心为点(30, 30), 半径10mm的圆
10	L4=直线/20, 30, 20, 10;	定义直线L4是过点(20, 30)和点(20, 10)的直线
11	进给速度/150;	进给速度150mm/min
12	冷却液/开;	供给冷却液
13	主轴/启动;	启动主轴
14	起刀点/P1;	刀具由P1点开始运动
15	点向/(点/0, 10, 0), 走到, L1;	刀具由所在位置向点(0, 10, 0)方向运动, 直到与L1接触时止
16	进给速度/100;	进给速度100mm/min
17	向右/走过, L2;	沿上一运动方向看, 本次运动方向是向右, 刀具沿L1运动, 直到刀具后缘与L2相切时止
18	向左/走过, L3;	刀具向左运动, 沿L2运动到刀具后缘与L3相切时止
19	向左/走到, C1;	刀具向左运动, 沿L3运动到刀具外缘与C1相切时止

(续)

序号	语 句	说 明
20	向右/走切, L4;	刀具向右运动, 沿C1运动到C1与L4相切处
21	向前/走过, L1;	刀具继续向前运动, 沿L4运动到刀具后缘与L1相切时止
22	进给速度/150;	进给速度为150mm/min
23	退刀点/P1;	刀具退回到P1点
24	主轴/停止;	主轴停止
25	冷却液/关;	关闭冷却液
26	程序完	程序结束

表 1-1 中的斜杠 “/” 是分隔符, 它分隔语句为两大部分。左部分为主要部分 (也称主语或主部), 右部分为辅助部分 (也称谓语或次部)。主部是决定语句形式的要素, 次部给出说明主部所需信息。逗号 “,” 是为分隔语句次部的词汇和各种数据用的。几何图形定义语句中等号 “=” 前面由字母和数字组成的符号串是几何名字; 几何图形定义中的 “=” 号用于分隔几何名字和语句。分号 “;” 是语句结束符号, 表示一个语句完了。

表 1-1 中的汉字换成数控程序系统能够识别的词汇, 即可得到一个零件源程序单。按零件源程序单在键盘穿孔机上穿孔, 制作零件源程序带。将零件源程序带上的信息输入到有该数控程序系统的电子计算机内 (也可直接在计算机的键盘上用按键输入), 计算机可自动地制出所需的数控带。还可根据要求输出零件加工程序单和零件几何图形。

采用自动编程方法时, 编程人员只需使用 “数控语言” 编写输入计算机的 “零件源程序”, 不必参与运算、数据处

理、编写零件加工程序单和数控带的制作等工作。而制作零件源程序带比制作数控带要简单得多，工作量小得多。因此，自动编程的工作量小，也简单明晰，不易产生错误，加快了编程速度，提高了计算精度，降低了对编程人员的技术要求，从而促进了数控机床的发展和应用。表 1-2 是手工编程和自动编程的相互比较。

表 1-2

内 容	手工编程	自动编程
数值计算	复杂、繁琐	由计算机完成
出错率	容易出错	不易出错
表达零件程序方式	用大量数字和代码编写零件加工程序	用容易熟悉的语言和符号编写零件源程序
复制、检验纸带	费事、慢，由人工完成	快，由计算机自动完成
修改程序	繁琐，慢	简单迅速
所需设备	简单，必要时，借助计算机计算	必须有一台计算机及相应外部设备
对编程人员要求	必须掌握数学运算能力	只要掌握源程序写法

第二节 数 控 语 言

生产中应用的数控语言很多。现以 APT 型数控语言为例，说明数控语言的基本符号、语法和语义。

一、基本符号

任何一种语言都是由一些基本符号组成的，如英语是由 26 个字母和标点符号组成的。数控语言常用的基本符号有字母、数字和标点符号。

1. 字母

数控语言用的字母是二十六个英语字母或汉语拼音字母，用于拼写词汇和形成名字、标号等标识符，大小写不分（常用大写），即A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O、P、Q、R、S、T、U、V、W、X、Y、Z。

2. 数字

数字用来形成名字、标号、数、度数。数控语言中的数字为十个阿拉伯数字，即0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。

3. 标点符号

标点符号用来分隔语句的词汇和其它成分，或用来表示算术运算方法。

数控语言中用到逗号“,”、斜杠“/”、星号“*”、双星号“**”、正号“+”、负号“-”、单美元号“\$”、冒号“:”、方括号“[]”、等号“=”、分号“;”、圆括号“()”、小数点“.”等。

(1) 逗号“,”用于分隔语句内的词汇、标识符和数据。例如：

向左/走过，L1；

机床/0, 0.01, 9999；

(2) 斜杠“/”用来分隔语句的主部和辅部，或者在计算语句中作运算符号（除号）。例如：

向前/走过，C2；

主部 辅 部

$A = B / D$ ；

(3) 星号“*”是乘法运算符号。例如：

$A = B * C$

(4) 双星号“**”或“↑”是指数运算符。例如:

$$A = B ** C \text{ 或 } A = B \uparrow C \text{ 即 } A = B^C$$

(5) 正号“+”用来规定一个数的符号或用来表示算术加法。在规定数的符号时, 如果该数没有符号, 则该数是正号。例如:

$$A = B + C$$

$$P = \text{点} / +5, +12, 7;$$

(6) 负号“-”用来表示算术减法或规定一个数的符号。例如:

$$A = B - C$$

$$P2 = \text{点} / +2, -15, -26;$$

(7) 单美元号“\$”用于没有语句结束符的数控语言中, 表示语句延续到下一行或下一个卡片上。例如:

$$D = E + F * (-2) \$$$

$$+ G$$

表示 $D = E + F * (-2) + G$ 是一个语句。

(8) 冒号“:”用于分隔语句及其标号。例如:

$$A > B: \text{向左/L1, 走过, C5};$$

(9) 方括号“[]”用于给出子曲线的起点号和终点号, 或用于复合语句及下标变量中。例如:

$$\text{Q1} = \text{列表曲线/P1, P2, P3,Pn};$$

$$[\text{向前/C2, 走过, Q1} [10, 12];$$

$$:$$

$$:$$

$$\text{向左/走到, L5};$$

$$X[1]$$

上例中 $Q1[10, 12]$ 是子曲线形式, 表示列表曲线 $Q1$ 的

第10至第12点间的两段。向前的前面和 L5 后面的一对方括号括起来的是复合语句。X(1)是场X的第一个变量。

(10) 等号“=”的用法如下：

1) 几何图形、宏指令和加工方法等定义时指定一个名字。例如：

PT1=点/x, y, z;

MAC1=宏指令/A, B, C[(语句)] $\ominus$

A1=车螺纹/(定义方式);

2) 给标识符赋值用。例如：

A = B + C;

(11) 分号“;”用作语句结束符号。例如，

C1=圆/圆心, P1, 半径, 15;

(12) 圆括号“()”的用法如下：

1) 括上算术变量的自变量。如，

A = ABS (B);

2) 括上变量的下标。如：

A (J) = B (2) + G;

3) 括上几何图形语句中的嵌套定义部分。如：

C1=圆/圆心, (点/1, 16), 半径, 20;

4) 括上算术条件语句的算术自变量。如：

如果, (A - B * C), 12, 13, 14;

5) 括上某一表达式或有关项。如：

A = B * (-3) + (C + D) / E;

6) 右括号“)”用于分隔语句及其标号。如：

M1) K = 1;

$\ominus$ 句中“< >”系元语言变量的开、闭括号。每个语言元素有一个元语言变量，它由“< >”中的汉语词汇所构成，如本例中的“<语句>”、“<定义方式>”等。

(13) 小数点 “.” 用于分隔数的整数部分和小数部分。
如:

0.25, 125.76。

二、词汇和标准函数

数控程序系统可识别的一套词汇，在零件源程序中分别表示特定的意义，因此编程人员不能将其作为标识符使用。

目前使用的数控语言，其词汇主要有两种：符号语言和词汇语言。

符号语言是用字母或其简单组合表示语句中的词汇的。这种语言的词汇较少，语句结构较简单，处理源程序的程序系统也较简单，多是对源程序一次处理就够了。这种语言适用于加工对象较单一的、某种数控机床的专用系统中。表 1-3 是我国研制的数控线切割机床自动编程语言所用的符号词汇。

表 1-3

符 号	意 义
P	几何类型符“点”
L	几何类型符“直线”；几何修饰符“在左”
C	几何类型符“圆”
A	几何修饰符“在上面”
B	几何修饰符“在下面”；控制符“开始”，表示程序开始
L	几何修饰符“左面”
R	几何修饰符“右面”；控制符“旋转”
I	几何修饰符“内”
O	几何修饰符“外”

(续)

符 号	意 义
V	几何修饰符“垂直”
T	控制符“坐标变换”
C	控制符“切割开始”
CL	控制符“切割结束”
S	控制符“直线对称”
CW	控制符“顺时针”
CC	控制符“逆时针”
E	控制符“程序结束”
R	修改性质“修改”
W	修改性质“插入”
D	修改性质“删除”
N	修改语句号标志符, 后跟修改语句号
ER	错误标志, 后跟错误信息

表中几何类型符是说明几何元素种类的符号, 如 P (POINT)、L (LINE)、C (CIRCLE)。几何修饰符是在几何元素定义时说明几何元素中参数的位置以及两个几何元素间关系的, 如 A (ABOVE)、I (IN) 等。控制符是指定处理方法或变更处理方法的符号, 如 T (TRANSFER)、S (SYMM-TRY) 等。

表1-3中的修改性质符 R、W、D, 修改语句号标志符 N, 错误标志符 ER 等符号, 统称其它符号。

词汇语言是用英语词汇或其缩写形式表示语句中的词汇的。我国研制的数控语言中, 在使用英语词汇的同时, 也有

使用汉语拼音缩写作词汇的,即两种词汇并存。通用性的数控语言多采用词汇语言。

APT型的词汇语言应用最多,它是由六个以下的字母组成的。按照词汇在语句中的作用,可将其分成如下几类:

1. 几何类型词

主要用于说明几何元素的种类。如 POINT (点), LINE (线), CIRCLE (圆), PLANE (平面), CYLNDR (圆柱), ELLIPS (椭圆), SPHERE (球面), QADRIC (二次曲面) 等。

2. 几何修饰词

在几何元素定义时,往往需要一些词汇来说明该几何元素中参数的性质,它在空间的位置状况,以及两个或两个以上几何图形之间的关系,这类词汇叫几何修饰词。

表示几何元素中参数性质的词汇有 CENTER (圆心), RADIUS (半径), SLOPE (斜率), ATANGL (夹角), MODUL (模) 等。

表示位置状况的词汇有 XLARGE (X大), XSMALL (X小), YLARGE (Y大), YSMALL (Y小) 等交点区分词,以及 LEFT (左), RIGHT (右) 等。

表示几何图形相互关系的词汇有 INTOF (相交), TANTO (相切), PERPTO (垂直), LARTAN (大切), OUTTAN (外切) 等。

例: 过已知两点 P_1 和 P_2 、半径为 R 的圆,其定义可写成 (图1-3):

$C1 = \text{CIRCLE/RADIUS}, 20, P_1, P_2, \text{XSMALL},$

$C1$ 圆的定义中,“RADIUS”是说明圆参数性质的词汇,其后的数是半径值。由于过两点的定半径圆有两个,因而用