

数控机床程序编制 —— 手工编程

李福生 编著

机械

版
社

数控机床程序编制——手工编程

李福生 编著



机械工业出版社

本书较全面、系统地介绍了数控机床程序编制中的基本概念和手工编程中各阶段的常用方法。书中所介绍的几个具有代表性的数控系统加工零件实例，有助于读者对数控机床程序编制过程及特点的了解。

本书介绍的工艺处理方法，可应用于自动编程方法中；书中介绍的数值计算方法，可供建立数控自动编程系统解决算法时参考。

本书可供具有一定数学知识和工艺知识的从事或准备从事数控机床程序编制工作的工人和技术人员阅读，也可作为高等学校有关专业的教学参考书。书中部分内容可供数控机床程序编制过程中遇到问题时查阅。

数控机床程序编制——手工编程

李福生 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

重庆印制一厂印刷

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 12·字数 265 千字

1982年11月重庆第一版·1982年11月重庆第一次印刷

印数 0,001—6,400 ·定价1.25元

*

统一书号：15033·5343

前 言

数控机床使用中的关键问题之一，就是程序编制问题。

我国数控机床程序编制方法，目前还是以手工编程为主。就是在数控自动编程应用比较普遍的国家，手工编程也还有应用。而且在采用自动编程时，会遇到手工编程中所遇到的工艺处理问题；在建立自动编程系统时，要经常遇到零件轮廓和刀具中心轨迹的算法问题等。

本书介绍数控机床手工编程（包括计算机辅助计算）中的基本概念和常用方法。书中各章节的次序，乃是按照程序编制过程中各阶段的顺序安排的。因此，阅读本书时，应注意连贯性。其中第三章的第三、五、六节和第四章用到解析几何、微分几何和线性代数等数学基础知识，阅读这部分有困难时，可暂先略去，但并不影响对以后各章节的阅读。

由于篇幅的限制，第三、四两章中叙述的方法，只介绍了基本概念和原理，未具体介绍其算法程序，计算实例也少些。读者要深入掌握这些方法，可参阅本书所附有关参考文献。

本书承戴有虎、白俊林、忻可闻等同志作了细致的校阅，仅此致谢。

由于笔者的思想水平和业务水平所限，书中错误在所难免，深望读者批评指正。

李福生

目 录

前言

第一章 概 述	1
第一节 什么是程序编制	2
第二节 程序编制的内容和步骤	3
第三节 程序编制的分类	11
第四节 数字化技术编程法和图象仪编程法	26
第五节 手工编程的应用范围及所用设备	36
第二章 程序编制中的工艺处理	39
第一节 数控工艺方面的问题	39
第二节 确定加工路线	45
第三节 选择刀具和确定切削用量	51
第四节 程序编制中工艺指令的处理	86
第五节 数控加工中的工艺文件	101
第六节 程序编制中的误差问题	108
第三章 数值计算	112
第一节 数值计算的内容	112
第二节 采用一次插补器的两座标数控编程中的数值计算	115
第三节 采用直线-圆弧插补器的两座标数控编程中的数值计算	158
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数值计算	168
第五节 带摆角的数控机床加工平面斜角零件的数值计算	185
第六节 立体型面零件的数值计算	208
第七节 数控车削加工中的数值计算	225

第四章	列表轮廓的数学处理	229
第一节	圆弧逼近列表曲线	230
第二节	牛顿插值法	235
第三节	双圆弧法	242
第四节	样条函数法	251
第五节	列表曲面的数学处理方法	277
第五章	编写程序单和制作纸带	294
第一节	数控程序的纸带编码	294
第二节	程序段格式	299
第三节	数控机床的座标轴和运动方向	312
第四节	数控带正确性检查	318
第六章	程编实例	321
第一节	在配有 SK3201 数控系统的数控车床上加工零件	321
第二节	在配有 SK236 数控系统的数控铣床上加工零件	334
第三节	在配有 BK-211A 数控系统的数控铣床上加工零件	345
第四节	在配有 SK-251 数控系统的数控铣床上加工零件	357
第五节	JCS-013 数控自动换刀卧式镗铣床的程序编制说明	365
主要参考文献		376

第一章 概 述

数字控制机床，简称数控机床，是近三十年来发展起来的一种新型自动化机床，它对复杂型面零件的加工，对单件、小批生产的自动化，都具有重要意义。

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、船舰制造、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，生产周期长，而且精度不容易保证。有些复杂零件的加工，手工操作已无能为力。生产中的要求，推动着机械加工方法和加工设备作出相应的改变。

随着近代计算技术、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。

数控机床同其他各种自动化机床的一个显著区别，在于当改变这种机床的加工对象时，除了重新装卡零件和更换相应的刀具外，只需换一个新的控制介质（如穿孔卡、穿孔带、磁带等），就可以自动地加工出新的零件来，而不必对机床作任何调整。因此，数控机床对品种改型频繁、新产品试制来说，其优越性就非常突出。

在数控机床上加工零件，首先必须根据零件图纸得到一个控制介质，将这个控制介质上的信息输送给机床，机床才能加工出所需零件来。因此，获得数控机床加工零件的控制介

质，就成为数控机床使用中的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。在自动机床上加工零件的过程，则通常规定在凸轮或靠模上，机床自动地按凸轮或靠模规定的“程序”加工零件。

所谓“程序”，就是机床加工零件的先后运动次序和位移量。对普通机床所用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。

在数控机床上加工零件时，要把加工零件的全部工艺过程、工艺参数和位移数据，以信息的形式记录在控制介质上，用控制介质上的信息来控制机床，实现零件的全部加工过程。这里，我们将从零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)。

记录工艺过程、工艺参数和位移数据的表格，称为“零件加工程序单”，或简称“程序单”，它是制作控制介质的依据。

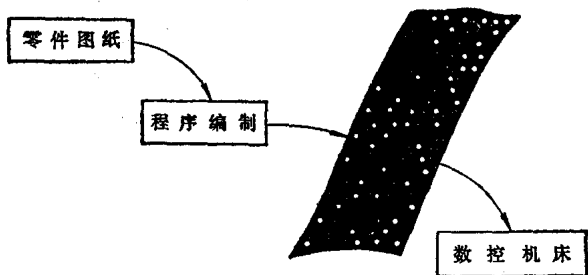
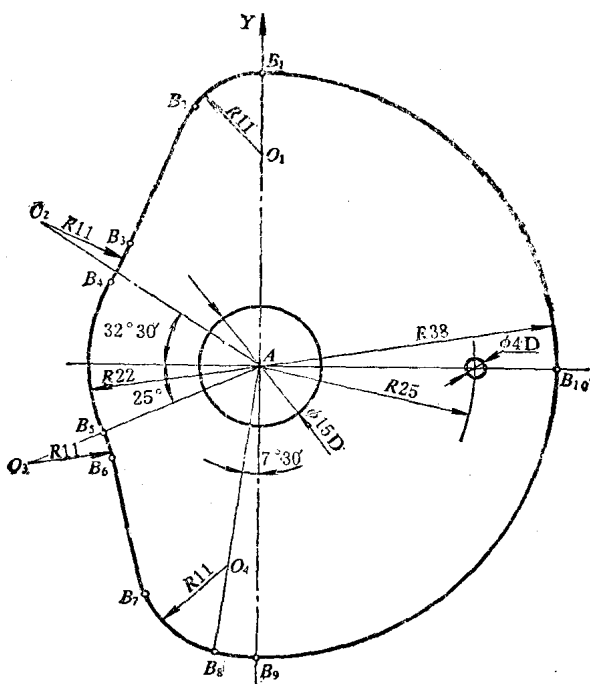


图 1-1

数控机床通常用穿孔纸带作为控制介质，这种穿孔纸带称为数控带。

第二节 程序编制的内容和步骤

编制程序时，要有具体的零件图纸，并在具体的数控机床上加工该零件。有时可能有几台数控机床可供选择。



注：零件厚度：8 毫米
尺寸精度： ± 0.05 毫米
材料：45 钢

图 1-2

为了说明程序编制工作包括哪些内容, 现以在数控机床上加工作图 1-2 所示零件为例加以说明。

图 1-2 所示为由直线和圆弧组成的平面零件, 因此最适宜在有直线-圆弧插补器并具有刀具偏移功能的数控铣床上加工。若毛坯已用划线法在普通铣床上粗铣, 则根据图纸所给条件 (尺寸精度 ± 0.05 毫米, 表面光洁度 $\nabla 6$, 零件未经淬火), 可用数控铣床一次铣削达到精度要求。

加工这个零件时要有一个夹具。夹具的底板上要有短圆柱销和菱形定位销, 其上有一个垫片; 零件上面要有一个压板。垫片和压板的形状与零件形状相同, 但稍小。零件上有中心孔和定位销孔, 其尺寸与短圆柱销及定位销一致。装夹时用螺帽锁紧压板。

加工时, 以中心孔作为对刀点, 然后沿图 1-3 中箭头所示的路线走刀, 最后返回对刀点。刀具选用 $\phi 16$ 立铣刀。主轴转速 $n=985$ 转/分, 快速进给速度 $F1=300$ 毫米/分, 切削进给速度 $F2=80$ 毫米/分, 切入时进给速度 $F3=150$ 毫米/分。

现在要根据零件图纸上给出的零件形状、尺寸以及确定的加工路线, 算出数控机床所需输入的数据。直线-圆弧插补器并具有刀具偏移功能的数控机床加工该零件时, 只要按加工路线算出相邻两几何元素的交点、切点 (图 1-2 中的 $B_1 \sim B_{10}$ 点) 以及圆弧的圆心 (图 1-2 中的 $O_1 \sim O_4$ 点) 座标值, 并按增量系统的要求, 算出直线终点相对起点的增量, 圆弧起点和终点相对圆心的增量, 然后将这些增量转换成脉冲数即可。

根据加工路线和计算的数据, 结合数控机床对输入信息的要求, 编写如表 1-1 所示的零件加工程序单。程序单第 1 页

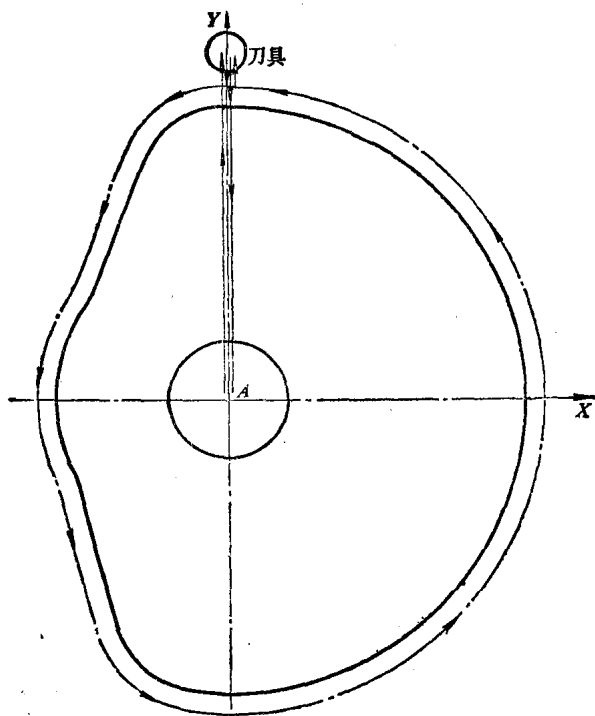


图 1-3

是调整机床、装夹零件的说明，第 2 页起是供穿孔用程序。其中 $N \times \times \times$ 是程序段序号； G 是准备功能， $G01$ 是直线， $G02$ 是顺时针圆弧， $G03$ 是逆时针圆弧， $G17$ 是 $X-Y$ 座标平面， $G19$ 是 $X-Z$ 座标平面， $G37$ 是有刀具偏移， $G42$ 是刀具在零件轮廓的右侧（顺着刀具运动方向看）， $G39$ 和 $G42$ 表示刀具的实际位移量较程序中给出的位移量少一个刀具半径值； I 、 J 是圆弧起点相对圆心的座标增量； X 、 Y 和 Z 是直线终点相对起点的座标增量或圆弧终点相

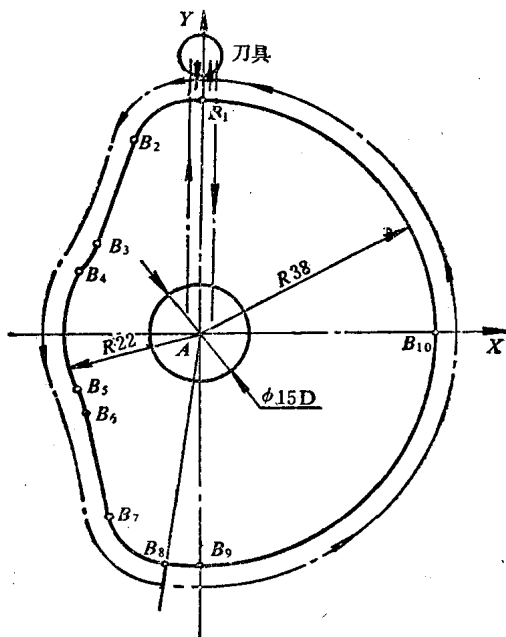
表 1-1

(第 1 页)

零件加工程序单

No 1

1. 零件名称: C616 车床凸轮
2. 图 号: 05102
3. 刀 具: $\phi 16$ 立铣刀
4. 主轴转速: 985 转/分
5. 进给速度: $F_1=300$ 毫米/分
 $F_2=80$ 毫米/分
 $F_3=150$ 毫米/分
6. 机 床: XK5040 (BK-211A 系统)



加工示意图

- 注: 1. 对刀点: A点
 2. 刀具下端面距零件底面: 48 毫米

表 1-1

(第 2 页)

零件加工程序单										No 2
No	G				I	J	X	Y	Z	F CR
No 01	G 01	G17	G37				X1000	Y4800		F1 CR
No 02		G19							Z-4900	CR
No 03		G17	G39	G42				Y-1000		F2 CR
No 04			G37				X-1000			F3 CR
No 05	G 03					J1100	X-1013	Y430		CR
No 06	G 01						X-758	Y-1787		CR
No 07	G 02				I1013	J430	X928	Y-591		CR
No 08	G 03				I1856	J1182	X-2200			CR
No 09					I2200		X-1394	Y-930		CR
No 10	G 02				I997	J465	X1080	Y294		CR
No 11	G 01						X519	Y-1871		CR
No 12	G 03				I1060	J294	X-144	Y-1091		CR
No 13					I496	J3763		Y-3800		CR
No 14						J3800	X3800			CR
No 15					I3800			Y3800		CR
No 16	G 01						X1000			F1 CR
No 17			G39					Y1000		CR
No 18		G19	G37						Z4900	CR
No 19		G17					X-1000	Y-4800		CR
No 20										M02 CR

对圆心的座标增量; F 是进给速度, 后面的数字为速度级数; CR 表示程序段结束, M 是辅助功能, $M02$ 是程序结束。填入表中的数据以 0.01 毫米为单位。

程序单填好后, 应该检查其正确与否。如果所填数据和指令都正确, 就可按程序单穿孔, 制作纸带。

在用纸带加工零件之前, 必须检查和核对纸带的正确性。加工第一个零件时, 要检查零件的尺寸和精度, 直到满足要求为止。

综上所述，程序编制应该包括如下内容：

(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加工，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。这一步是以下各项工作的基础。

(2) 确定工艺过程

在分析零件图纸的基础上，确定零件的加工方法（如采用的工夹具、装夹定位方法等）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、切削宽度和深度等）。

(3) 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。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。对于点位控制的数控机床，往往无需数值计算。如果零件图纸的坐标数据与数控系统要求输入的数据不同，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，如果零件形状比较简单（如由直线和圆弧组成的平面零件），而数控系统的插补功能又与零件形状相符，并能实现刀具半径偏移运算（例如直线-圆弧插补器并具有刀具偏移功能）时，数值计算也比较简单，仅需用普通计算机算出零

件轮廓相邻几何元素的交点或切点（如直线的起点或终点，圆弧的起点、终点和圆心）的座标值，就能满足要求。

当零件形状比较复杂，并与数控系统的插补功能不一致时，都需要较复杂的数值计算过程。比如由二次曲线组成的平面零件，用直线插补功能的数控机床加工时，除了计算组成该零件轮廓相邻几何元素的交点和切点（称为基点）外，还要用直线逼近组成零件轮廓的所有几何元素，而且逼近误差要小于允许值（图 1-4），再求出相邻直线的交点（称为节点），同时还要算出刀具中心轨迹。若用球头刀加工立体曲面零件时，还必须求出球头刀球心的轨迹。对于这种情况，大都要借助于通用电子计算机完成数值计算工作。

（5）编写程序单

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，编写零件加工程序单。这是制

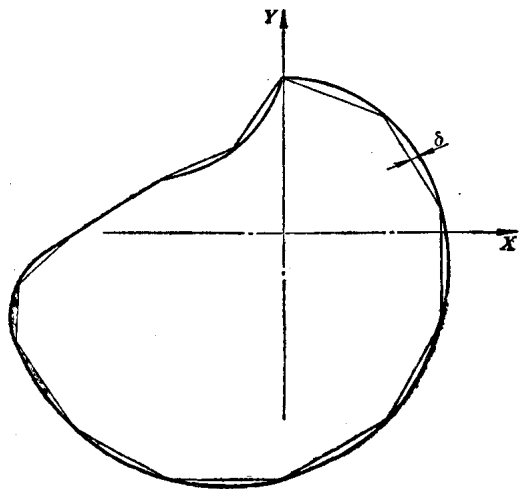


图 1-4

备纸带的依据。

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，如机床启停、计划停车等。

(6) 制备穿孔带

按程序单在键盘穿孔机上穿孔（穿孔机的编码应符合数控系统输入编码的要求），以便得到数控系统所需输入的数控带。

(7) 校对检查数控带

检查由于人工和机器造成的纸带错误（如多穿、少穿和误穿，或由于穿孔机不可靠而造成的多孔、少孔等情形），以及由于计算和编写程序单时造成的错误。

这一工作是很花时间而又麻烦的，但却是必不可少的。

(8) 首件试加工

纸带校验正确后，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。

应当指出，数值计算是程序编制工作中的重要组成部分，特别是对那些比较复杂的零件来说，更是如此。

由上述可知，编程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算；按计算结果和加工路线编写程序单，最后按程序单穿孔制作纸带。

第三节 程序编制的分类

程序编制可分为手工编程和自动编程两大类。

一、手工编程

手工编程也称人工编程。顾名思义,即处处离不开人。尽管在编程过程中可能采用一些计算工具(如台式计算机和通用计算机等)和纸带正确性检查装置(如绘图机、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。手工编程的过程如图 1-5 所示。

这里应该说明,在许多情况下,数值计算工作必须由通用计算机协助完成。人们一般称它为计算机辅助编程。但实际上只是计算机辅助计算,因此也属于手工编程的范围。

手工编程既繁琐又复杂,而且容易产生错误。其原因是:

(1) 图纸上给出的零件轮廓数据往往比较少,而数控系统要求有较多的数据才能控制机床,特别是数控系统的插补功能要求输入的数据与零件形状数据不一致时,都要进行较复杂的数学运算。运算过程中可能产生人为的错误。

(2) 加工复杂型面时,图纸上给出的是零件轮廓,而数控系统控制的是刀具中心轨迹,因此还要计算刀具中心轨迹数据。这个计算过程比较复杂。在有刀具偏移功能的数控系统中,要使用一些指令并要计算出某些数据,这些指令的使用和计算过程也比较繁琐、复杂,容易产生错误。

(3) 零件形状以抽象数据表示以后,就失去了明确的几何形象。处理这些数据时,就容易产生错误。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。特别是数据量很大的大型零件,工作量大,穿孔时间很长,也容