

中国高等职业技术教育研究会推荐

面向 21 世纪机电类专业高职高专规划教材

数控编程与操作

——SINUMERIK 数控系统

主 编 赵松涛

副主编 卢万强 彭美武

主 审 唐 健

西安电子科技大学出版社

2006

内 容 简 介

本书全面、详实地介绍了配置有 SINUMERIK 802S 系统的数控车床和 SINUMERIK 840C/840D 系统的数控铣床的编程功能,以及 SINUMERIK 840D 系统的数控铣床的操作方法等。

本书在内容上力求概念清晰、准确,叙述深入浅出、生动具体,特别注重面向实践,突出实用性,同时精选了大量的实例,便于读者理解。

本书可作为高等职业技术学院数控技术、机械制造、模具等专业的教学用书,也可作为某些企业有关工种职工的培训教材,还可作为从事数控加工的工程技术人员的参考用书。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作: SINUMERIK 数控系统 / 赵松涛主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.9
面向 21 世纪机电类专业高职高专规划教材

ISBN 7-5606-1737-9

I. 数… II. 赵… III. 数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 105106 号

策 划 毛红兵

责任编辑 雷鸿俊 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www.xduph.com

E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 12.125

字 数 283 千字

印 数 1~4000 册

定 价 15.00 元

ISBN 7-5606-1737-9/TG·0013

XDUP 2029001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

当今世界各国制造业广泛采用数控技术，以提高制造能力和水平，提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为各发达国家加速经济发展、提高综合国力的重要途径。数控技术也是关系我国制造业发展和综合国力提高的关键，尽快加速培养数控技术的应用型人才已成为当务之急。

为了适应高等职业教育对人才培养的需求，必须对课程体系进行整体优化，在适当降低理论深度及难度的同时，拓宽知识面，加强实际工作中需要的新技术、新知识，以提高岗位工作能力。本教材按培养、提高工艺实施与编程人员的职业能力进行阐述，将必要的知识点融于能力培养中，注重实践性教学和知识的综合应用，将数控加工工艺和数控编程有机地结合起来。

当前市场关于数控编程与操作方面的资料主要以介绍 FANUC 数控系统为主，而介绍 SINUMERIK 数控系统的资料不足。许多企业目前购买了配置 SINUMERIK 数控系统的数控机床，相关的技术人员急需这方面的资料，本教材正是基于这种状况而编写的。全书力求从实际应用的需要出发，尽量减少对枯燥、实践性不强的理论概念的讲解，详细地介绍了 SINUMERIK 数控系统常用的指令及其应用和 SINUMERIK 840D 数控系统的操作，文字简练、图文并茂，是一本内容丰富、系统性强、有一定使用价值的教材。

本书由赵松涛副教授担任主编，唐健副教授担任主审。参加本书编写工作的有四川工程职业技术学院的赵松涛(第二、五章)、卢万强(第一、三章)和彭美武(第四章)。

限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2006年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述.....	1
第二节 数控机床的组成及工作原理.....	2
第三节 数控机床的分类.....	3
第四节 现代数控机床的发展.....	5
第二章 数控加工程序基础	7
第一节 数控加工程序编制概述.....	7
第二节 数控机床的坐标系.....	13
第三节 常用编程指令.....	18
第四节 SINUMERIK 系统的 R 参数.....	26
第五节 程序编制中的数学处理.....	28
第六节 数控加工工艺分析.....	31
第三章 数控车削编程	37
第一节 概述.....	37
第二节 数控车削加工工艺.....	40
第三节 SINUMERIK 802S 系统数控车床编程基础.....	44
第四节 SINUMERIK 802S 系统数控车床编程方法.....	58
第五节 SINUMERIK 802S 的子程序与循环.....	60
第六节 固定循环功能.....	62
第七节 SINUMERIK 802S 程序跳转功能.....	75
第八节 SINUMERIK 802S 的对刀.....	79
第九节 典型零件的数控车削加工.....	81
第四章 数控铣削编程	87
第一节 概述.....	87
第二节 数控铣削加工工艺制定.....	90
第三节 SINUMERIK 基本功能.....	95
第四节 SINUMERIK 840C 编程基础.....	102
第五节 SINUMERIK 840C R 参数及子程序.....	106
第六节 SINUMERIK 840C 固定循环功能指令.....	109
第七节 SINUMERIK 840C @循环功能编程.....	120
第八节 SINUMERIK 840D 编程基础.....	126
第九节 SINUMERIK 840D FRAME 编程.....	132

第十节 SINUMERIK 840D R 参数及子程序.....	139
第十一节 SINUMERIK 840D 固定循环功能指令.....	142
第十二节 SINUMERIK 840D 程序跳转及程序段重复功能.....	151
第十三节 数控铣床编程实例.....	155
第五章 数控机床的操作.....	162
第一节 操作面板介绍.....	162
第二节 程序管理.....	168
第三节 准备工作.....	173
第四节 手动操作.....	179
第五节 自动方式.....	181
参考文献.....	186



第一章 绪 论

第一节 概 述

随着科学技术和社会生产的不断发展,机械产品的结构越来越复杂,产品更新越来越快,因此对加工机械产品的生产设备提出了更高(高性能、高精度和高自动化)的要求,尤其在个性化方面要求日益明显,产品品种的日益增多和生命周期越来越短已成必然趋势。传统的普通机床、专用机床、仿形机床由于效率低、适应性差,已经不能满足加工的需要。

为此,一种新型的数字程序控制机床应运而生,它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批量生产,特别是复杂型面零件的生产提供了自动化加工手段,使产品的机械加工能力得到了极大的提高。

一、基本概念

数控即数字控制(Numerical Control, NC)。数控技术即 NC 技术,是指用数字化信息对设备进行自动控制的技术。采用了数控技术控制(即装备了数控系统)的机床,称之为数控机床。数控机床是机电一体化的典型产品,是集机床、计算机、电机及拖动、自动控制、检测等技术为一体的自动化设备。现代数控系统都是计算机数控系统(Computer Numerical Control, CNC)。

二、数控机床的特点

与传统的机械加工设备相比较,数控机床有以下特点:

(1) 适应性强。数控设备采用数控系统取代了通用机床的手工操作,具有充分的柔性,只要重新编制零件加工程序,更换相应工装,就能加工出新的零件。

(2) 精度高,质量稳定。由于数控机床避免了通用机床加工时人为因素的影响,因此加工的零件精度高、一致性好。

(3) 生产周期短,生产率高,特别适合小批量、单件零件的加工。

(4) 可加工复杂形状的零件。

(5) 易于调整机床,与其他专用加工方法相比,所需调整时间较少,劳动强度低,劳动条件较好。

(6) 易于建立计算机通信网络,有利于生产管理。

(7) 设备初期投资大。

(8) 由于系统本身的复杂性,增加了维修的技术难度和维修费用。



第二节 数控机床的组成及工作原理

一、数控机床的组成

数控机床主要由输入/输出装置、计算机数控装置、伺服系统和机床本体等四部分组成，如图 1-1 所示。

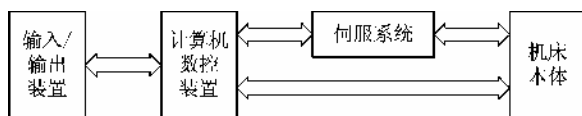


图 1-1 数控机床基本结构框图

1. 输入/输出装置

输入装置的作用是将数控加工信息读入数控系统的内存存储。常用的输入装置/方式有光电阅读机、手动输入(MDI)方式和远程通信方式等。输出装置的作用是为操作人员提供必要的信息，如各种故障信息和操作提示等。常用的输出装置有显示器和打印机等。

2. 计算机数控装置

计算机数控装置是数控机床实现自动加工的核心单元，通常由硬件和软件组成。目前的数控系统普遍采用通用计算机作为主要的硬件部分；而软件部分主要是指主控制系统软件，如数据运算处理控制和时序逻辑控制等。数控加工程序通过数据运算处理后，输出控制信号控制各坐标轴移动；而时序逻辑控制主要是由可编程控制器(PLC)完成加工中各个动作的协调，使数控机床有条不紊地工作。

3. 伺服系统

伺服系统是计算机数控装置和机床本体之间的传动环节。它主要接收来自计算机数控装置的控制信息，并将其转换成相应坐标轴的进给运动和定位运动。伺服系统的精度和动态响应特性直接影响着机床本体的生产率、加工精度和表面质量。伺服系统主要包括主轴伺服和进给伺服两大单元。伺服系统的执行元件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

4. 机床本体

机床本体是指数控机床的机械结构部分，它是最终的执行环节。为了适应数控加工的特点，数控机床在布局、外观、传动系统、刀具系统及操作机构等方面都不同于普通机床。

二、数控机床的工作原理

图 1-2 所示为数控机床的一般工作原理。

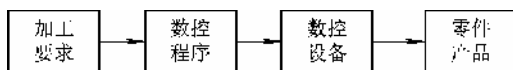


图 1-2 数控机床的工作原理



数控机床是按照事先编制好的数控加工程序对零件进行加工的高效自动化设备。首先需要零件图样的技术特征、几何形状、尺寸和工艺等加工要求进行系统的分析，确定合理、正确的加工方案和加工路线，然后按照数控机床规定采用的代码和程序格式，根据加工要求编制出数控加工程序。数控加工程序可以记录在信息载体上，也可以通过某种方式输入数控机床，再由数控机床的数控系统对数控加工程序进行译码和预处理，接着由插补器进行插补计算，逐点计算并确定各线段起点与终点间一系列中间点的坐标及各轴的运动方向、大小和速度，分别向各轴发出运动序列指令，完成零件产品的加工。

第三节 数控机床的分类

目前，数控机床的品种规格繁多，分类方法也不相同，通常可按以下方式对其进行分类。

1. 按工艺用途分类

1) 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗铣床等。

2) 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床是指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床，常用的有数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机等。

3) 数控特种加工机床

数控特种加工机床有数控电火花线切割机床、数控电火花成形加工机床、数控激光加工机床与数控火焰切割机等。

4) 测量、绘图类数控机床

测量、绘图类数控机床有数控绘图机、数控坐标测量机、数控对刀仪等。

2. 按运动轨迹分类

1) 点位控制系统的数控机床

点位控制系统只控制刀具相对工件从某一加工点移到另一个加工点的精确坐标位置，而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制，且移动过程中不作任何切削加工。通常采用此类系统的设备有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

2) 直线控制系统的数控机床

直线控制系统不仅要控制点与点的精确位置，还要求两点之间的移动轨迹是一条直线，且在移动中能以给定的进给速度进行切削加工。采用此类控制方式的设备有数控车床、数控铣床等。

3) 连续控制系统的数控机床

连续控制系统又称为轮廓控制系统或轨迹控制系统。这类系统能够同时对两个或两个以上坐标方向进行严格控制，即不仅控制每个坐标轴的行程位置，同时还控制每个坐标轴的运动速度。各坐标的运动按规定的比例关系相互配合，精确地协调起来进行连续的切削



加工，以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面。采用此类控制方式的设备有数控车床、数控铣床、加工中心、电加工机床、特种加工机床等。

3. 按伺服控制系统分类

1) 开环控制系统的数控机床

开环控制系统不装备位置检测反馈装置，即无位移的实际值反馈与指令值进行比较修正，因而控制信号的流程是单向的。数控机床开环控制框图如图 1-3 所示。

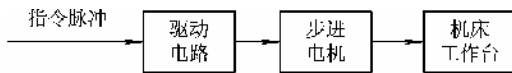


图 1-3 数控机床开环控制框图

2) 闭环控制系统的数控机床

闭环控制系统是带有位置检测反馈装置，将位移的实际值反馈回去与指令值比较，用比较后的差值去控制机床的移动部件，直至差值消除时才停止修正动作的系统。数控机床闭环控制框图如图 1-4 所示。

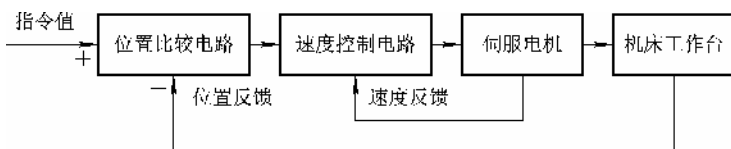


图 1-4 数控机床闭环控制框图

3) 半闭环控制系统的数控机床

半闭环控制系统是闭环控制系统的一种派生。它与闭环控制系统的不同之处仅在将检测元件装在传动链的旋转部位，它所检测得到的不是工作台的实际位移量，而是与位移量有关的旋转轴的转角量。因此，其精度比闭环控制系统稍差。但这种系统结构简单，便于调整，检测元件价格也较低，因而是广泛使用的一种控制方式。数控机床半闭环控制框图如图 1-5 所示。

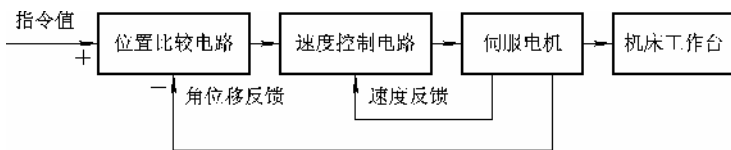


图 1-5 数控机床半闭环控制框图

4. 按数控系统的功能分类

1) 经济型数控系统的数控机床(又称简易数控系统)

这一档次的数控机床仅能满足一般精度要求的加工，能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹的零件，采用的微机系统为单板机或单片机系统，具有数码显示、CRT 字符显示功能，机床进给由步进电动机实现开环驱动，控制的轴数和联动轴数在 3 轴或 3 轴以下。



2) 普及型数控系统的数控机床(常称全功能数控系统)

这类数控系统的功能较多,除了具有一般数控系统的功能以外,还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等,采用的微机系统为 16 位或 32 位微处理机,具有 RS-232C 通信接口,机床的进给多用交流或直流伺服驱动,一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制。

3) 高档数控系统的数控机床

这类数控系统的微机系统为 32 位以上微处理机系统,机床的进给大多采用交流伺服驱动,除了具有一般数控系统的功能以外,应该至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制。这类数控机床具有三维动画图形功能和宜人的图形用户界面,同时还具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能,以及很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,且能实现与计算机的联网和通信。

4) 基于 PC 的开放式数控系统的数控机床

这类数控系统采用通用微机技术开发数控系统,可以得到强有力的硬件与软件支持,这些软件和硬件的技术是开放式的。此时的通用微机除了具备本身的功能外,还具备了全功能数控系统的所有功能,是数控机床的发展趋势。

第四节 现代数控机床的发展

一、数控技术的产生与发展

数控技术的发展是随着计算机技术和电子技术的发展而发展的。在第一台数控机床问世至今的 50 余年中,先后经历了电子管(1952 年)、晶体管和印刷电路板(1960 年)、小规模集成电路(1965 年)、小型计算机(1970 年)、微处理器或微型计算机(1974 年)和基于 PC-NC 的智能数控系统(20 世纪 90 年代后)等六代数控系统。

前三代数控系统是采用专用控制计算机的硬逻辑(硬件)数控系统,简称 NC(Numerical Control),目前已被淘汰。

第四代数控系统采用小型计算机取代专用控制计算机,数控系统的许多功能由软件来实现,故这种数控系统又称为软件数控系统,即计算机数控系统,简称 CNC(Computer Numerical Control)。1974 年采用以微处理器为核心的数控系统,形成了第五代微型机数控系统,简称 MNC(Micro-computer Numerical Control)。CNC 与 MNC 统称为计算机数控。CNC 和 MNC 的控制原理基本相同,目前趋向采用成本低、功能强的 MNC。

20 世纪 90 年代后,发展了基于 PC-NC 的第六代数控系统,它充分利用了现有 PC 机的软硬件资源,规范设计出新一代功能更强的数控系统。

在数控系统不断更新换代的同时,数控机床的品种、功能、应用也随之不断地发展。

二、数控机床的发展趋势

中国机床工具工业协会数控系统分会的有关专家认为,数控机床、数控技术将出现如下发展趋势。



1) 高精度、高速度

尽管 10 多年前数控机床就出现了高精度、高速度的趋势，但是科学技术的发展是没有止境的，高精度、高速度的内涵也在不断变化。目前，数控机床正在向着精度和速度的极限发展。

2) 智能化

智能化是为了提高生产的自动化程度。智能化不仅贯穿在生产加工的全过程(如智能编程、智能数据库、智能监控)中，还要贯穿在产品的售后服务和维修中。也就是说，不仅在控制机床加工时数控系统是智能的，就是在系统出了故障时，诊断、维修也都是智能的。

3) 软硬件进一步开放化

数控系统在出厂时并没有完全决定其使用场合和控制加工的对象，更没有决定要加工的工艺，而是由用户根据自己的需要对软件进行再开发，以满足用户的特殊需要。数控系统生产商不应制约用户的生产工艺和使用范围。

4) 实时智能化

在数控技术领域，实时智能控制的研究和应用正沿着几个主要分支发展：自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等。例如，在数控系统中配备编程专家系统、故障诊断专家系统、参数自动设定和刀具自动管理及补偿等自适应调节系统，在高速加工时的综合运动控制中引入提前预测和预算功能、动态前馈功能，在压力、温度、位置、速度控制等方面采用模糊控制，使数控系统的控制性能大大提高，从而达到最佳控制的目的。

5) 网络化

数控机床网络化便于远距离操作和监控，也便于远程诊断故障和进行调整，利于数控系统生产厂对其产品的监控和维修，也适于大规模现代化生产的无人化车间实行网络管理，还适于在操作人员不宜到现场的环境(如对环境要求很高的超精密加工和对人体有害的环境)中工作。

6) 多媒体技术应用化

多媒体技术集计算机、声像和通信技术于一体，使计算机具有综合处理声音、文字、图像和视频信息的能力。在数控技术领域，应用多媒体技术可以做到信息处理综合化、智能化，在实时监控系统和生产现场设备的故障诊断、生产过程参数监测等方面有着重大的应用价值。



第二章 数控加工程序基础

数控机床是严格按照从外部输入的程序来自动地对工件进行加工的。为了与数控系统的内部程序(即系统软件)及自动编程用的零件源程序相区别,我们把从外部输入的、直接用于加工工件的程序称为数控加工程序,简称加工程序。

加工程序是用自动控制语言和格式表示的一套命令,简称指令,它是机床数控系统的应用软件。数控装置所用的计算机属于专用计算机,它使用的自动控制语言与通用计算机使用的 BASIC、FORTRAN 等高级语言属于不同的范畴。尽管自动控制语言也像高级语言那样有严格的规则和格式,但它没有高级语言那样的语法。

数控系统的种类繁多,它们使用的加工程序的语言规则和格式也千差万别。即使同一厂家生产的数控系统,不同型号所用的语言规则和格式也不尽相同。由于加工程序是人的意图与数控机床加工之间的桥梁,因此应很好地掌握它。本章仅介绍数控加工程序基础。

第一节 数控加工程序编制概述

一、数控加工程序编制的定义与方法

1. 程序编制的定义

数控机床是按照事先编制好的数控程序自动地对工件进行加工的高效自动化设备。理想的数控加工程序不仅应该保证能加工出符合图样要求的合格工件,还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥,以使数控机床能安全、可靠、高效地工作。

在加工程序编制以前,编程人员应了解所用数控机床的规格、性能,数控系统所具备的功能及编程指令格式等。编制程序时,需要先对零件图样规定的技术特性、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析,确定加工方法和加工路线,再进行数值计算,获得刀具中心运动轨迹的位置数据。然后,按数控机床规定采用的代码和程序格式,将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、切削进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀、主轴的正转与反转、切削液的开与关等)编制成数控加工程序。通过控制介质将零件加工程序输入数控系统,由数控系统控制数控机床自动地进行加工。数控机床的加工过程见图 2-1。

因此,数控机床的程序编制主要包括:分析零件图样、工艺处理、数学处理、编写程序单、制作控制介质及程序检验。所以数控程序编制也就是指由分析零件图样到程序检验的全部过程,见图 2-2。

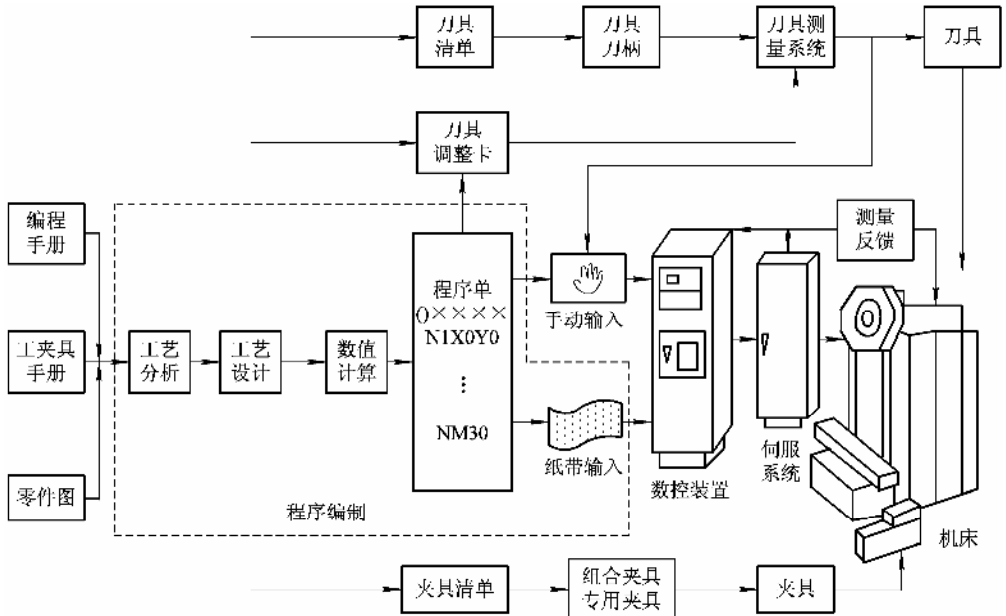


图 2-1 数控机床的加工过程

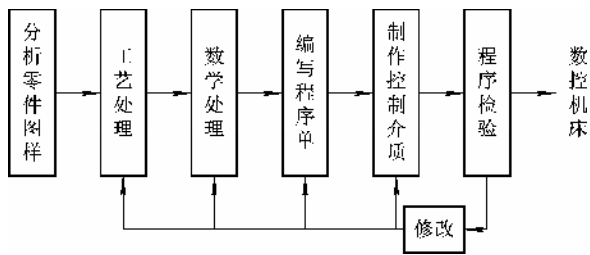


图 2-2 数控加工程序编制过程

2. 数控机床加工程序编制的具体步骤与要求

(1) 分析零件图样和工艺处理。这一步骤的内容包括：对零件图样进行分析；明确加工的内容和要求；确定加工方案；选择适合的数控机床；选择、设计刀具和夹具；确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。

(2) 数学处理。在确定了工艺方案后，需要根据零件的几何尺寸和加工路线，计算刀具中心运动轨迹，以获得刀位数据。一般数控系统均具有直线插补与圆弧插补的功能，对于加工由圆弧和直线组成的较简单的平面零件，只需要计算出零件轮廓上相邻几何元素的交点或切点的坐标值，得出各几何元素的起点、终点及圆弧的圆心坐标值。对于较复杂的零件或零件的几何形状与控制系统的插补功能不一致时，就需要进行较复杂的数值计算。例如，对非圆曲线(如渐开线、阿基米德螺旋线等)需要用直线段或圆弧段来逼近，在满足加工精度的条件下，计算出曲线各节点的坐标值。

(3) 编写零件加工程序及程序检验。在完成上述工艺处理及数值计算工作后，即可编写零件加工程序。程序编制人员使用数控系统的程序指令，按照规定的程序格式，逐段编写零件加工程序。编程人员应对数控机床的性能、程序指令及代码非常熟悉，才能编写出正确的加工程序。



程序编写好之后,输入数控系统,控制数控机床工作。一般来说,正式加工之前,要对程序进行检验。在具有图形模拟功能的数控机床上可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程,对程序进行检查。还可以采用空运行的方式,即在不装夹工件或不安装刀具的情况下执行数控加工程序,通过检查机床动作和运动轨迹的正确性来检验程序。对于复杂的零件,需要采用易切材料进行试切削,通过检查试件,不仅确认程序是否正确,还可知加工精度是否符合要求。若能采用与被加工工件材质相同的材料进行试切削,则更能反映实际加工效果。当发现工件不符合加工技术要求时,则需修改程序或修改加工参数。

3. 数控加工程序编制的方法

数控加工程序编制的方法有两种:手工编制程序与自动编制程序。

手工编程是指主要由人工来完成数控加工程序编制中各个阶段的工作。对于几何形状不太复杂的零件,所需要的加工程序不长,计算也比较简单,出错机会较少,这时用手工编程较方便。因此,手工编程仍被广泛地应用于形状简单的点位加工及平面轮廓加工中。

对于一些复杂零件,特别是具有非圆曲线的表面,或者零件的几何元素不复杂,但程序量很大的零件,或当铣削轮廓时,数控系统具备刀具半径自动补偿功能,而只能以刀具中心的运动轨迹进行编程等特殊情况,由于计算相当繁琐且程序量大,手工编程就难以胜任,即使能够编出程序,往往也要耗费很长时间,而且容易出现错误。因此,为了缩短生产周期,提高数控机床的利用率,有效地解决各种模具及复杂零件的加工问题,采用手工编制程序已不能满足要求,而必须采用自动编制程序的办法。

自动编程是指在编程的各项工作中,除拟订工艺方案仍主要依靠人工进行外,其余的工作,包括数学处理、编写程序单、程序输入和程序校验等各项工作均由计算机自动完成。由于计算机自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算工作,并省去了书写程序单及制作控制介质的工作量,同时解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题,因此自动编程主要用于曲面等复杂零件的程序编制。

二、字符与代码

字符是一个关于信息交换的术语,它的定义是:用来组织、控制或表示数据的一些符号,如数字、字母、标点符号、数学运算符等。字符也是我们所要研究的加工程序的最小组成单位。常规加工程序用的字符分四类。

第一类是地址字符,它由 26 个英文字母组成。加工程序中常用的地址字符如下:

D	刀号
F	进给
G	准备功能
I、J、K、IP	插补参数
POS	位置轴
SPOS	主轴位置
R	R 参数

第二类是数字和小数点字符,它由 0~9 共 10 个阿拉伯数字及一个小数点组成。

第三类是符号字符,它由正号(+)和负号(-)组成。



第四类是功能字符，它由程序开始字符、结束字符、程序段结束字符、跳过程序段字符、机床控制暂停字符等组成。加工程序中常用的功能字符如下：

<	小于字符
:	主程序段号字符
=	赋值字符
/	跳过程序段字符、除字符
*	乘字符
LF	程序段结束字符

数控系统与通用计算机一样只接受二进制数字信息，所以必须把每个字符转换成 8 比特(bit)信息组合的字节(byte)。每个字符在内存中占用一个字节内存单元。字符的编码，国际上广泛采用两种标准，即国际标准化组织(ISO)标准和美国电子工业协会(EIA)标准，它们分别称为 ISO 代码和 EIA 代码。这两种代码的区别不仅仅是每种字符的二进制八位数编码不同，而且功能的符号、含义和数量都有很大区别，在大多数数控机床上，这两种代码都可以使用。

三、程序字及其功能

程序字的简称是字，它是机床数字控制的专用术语。它的定义是：一套有规定次序的字符，可以作为一个信息单元存储、传递和操作，如 X250 就是“字”。常规加工程序中的字都是由地址字符(或称为地址符)与随后的若干位十进制数字字符组成的。地址字符与后续数字字符间可加正、负号，正号可省略不写。常用的程序字按其功能不同可分为 7 种类型，它们分别称为顺序号字、准备功能字、尺寸字、进给功能字、主轴转速功能字、刀具功能字和辅助功能字。

1. 顺序号字

顺序号字也叫程序段号或程序段序号。顺序号字位于程序段之首，它的地址符是 N 或冒号(:)，后续数字一般为 2~4 位。

1) 顺序号的使用规则

- (1) 数字部分应为正整数，所以最小顺序号是 N1。
- (2) N 与数字间、数字与数字间一般不允许有空格。
- (3) 顺序号的数字可以不连续使用，如第 1 段用 N1、第 2 段用 N10、第 3 段用 N15。
- (4) 顺序号的数字不一定要从小到大使用，如第 1 段用 N10、第 2 段用 N2。
- (5) 顺序号不是程序段的必用字。
- (6) 对于整个程序，可以每个程序段都设顺序号，也可以只在部分程序段中设顺序号。

2) 顺序号的作用

- (1) 便于人们对程序作校对和检索修改。
- (2) 便于在图上标注。在加工轨迹图的几何基点处可标上相应程序段的顺序号。
- (3) 用于程序段复归操作。程序段复归操作也叫“再对准”，就是指在加工中因为各种原因造成加工程序中断，排除故障后需要重新回到中断处继续运行程序。这种复归操作必须有顺序号才能进行。



2. 准备功能字

准备功能字的地址符是 G，所以又称为 G 功能或 G 指令。它的定义是：建立机床或控制系统工作方式的一种命令。准备功能字中的后续数字大多为两位正整数(包括 00)。不少机床此处的前置“0”允许省略，如 G4，实际是 G04。随着数控机床功能的增加，G00~G99 已不够使用，所以有些数控系统的 G 功能字中的后续数字已经使用三位数。现在国际上实际使用的 G 功能字的标准化程度较低，只有 G00~G04、G17~G19、G40~G42 的含义在各系统基本相同。有些数控系统规定可使用几类 G 指令。这说明，用户在编程时必须遵照机床编程说明书行事，不可张冠李戴。

3. 尺寸字

尺寸字也叫尺寸指令。尺寸字在程序段中主要用来指令机床的运动部件到达的坐标位置。表示暂停时间等指令也列入其中。尺寸字的地址符用得较多的有三组。第一组是 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R，主要是用于指令到达点的直线坐标尺寸，有些地址符如 X 还可用于在 G04 之后指定暂停时间；第二组是 A、B、C、D、E，主要是用来指令到达点的角度坐标；第三组是 I、J、K，主要用来指令零件圆弧轮廓圆心点的坐标尺寸。尺寸字中地址符的使用虽然有一定规律，但是各系统往往还有一些差别。

4. 进给功能字

进给功能字的地址符用 F，所以又称为 F 功能或 F 指令。它的功能是指令切削的进给速度。现在一般都能使用直接指定方式，即可用 F 后的数字直接指定进给速度。对于车床，可分为每分钟进给和主轴每转进给两种。

5. 主轴转速功能字

主轴转速功能字用来指定主轴的转速(单位为 r/min)，其地址符使用 S，所以又称为 S 功能或 S 指令。中档以上的数控机床的主轴驱动已采用主轴控制单元，它们的转速可以直接指令，即用 S 的后续数字直接表示每分钟主轴转速。例如，要求 1300 r/min，则指令为 S1300。对于中档以上的数控车床，还有一种使切削线速度保持不变的所谓恒线速度功能。这意味着在切削过程中，如果切削部位的回转直径不断变化，那么主轴转速也要不断地作相应变化。在这种场合，程序中的 S 指令是指定车削加工的线速度。

6. 刀具功能字

刀具功能字用地址符 T 及随后的数字表示，所以也称为 T 功能或 T 指令。T 指令的功能含义主要是用来指定加工时用的刀具号。例如，T1 表示调用 1 号刀具进行切削加工。

7. 辅助功能字

辅助功能字由地址符 M 及随后 1~3 位数字组成(大多为两位)，所以也称为 M 功能或 M 指令。它用来指令数控机床辅助装置的接通和断开(即开关动作)，表示机床各种辅助动作及其状态。与 G 指令一样，M 指令在实际使用中的标准化程度也不高。各种系统 M 代码含义的差别很大，但 M00~M05 及 M30 的含义是一致的。随着机床数控技术的发展，两位数 M 代码已不够使用，所以当代数控机床已有不少使用三位数的 M 代码。常用 M 代码如下：

M00：程序暂停。在自动加工过程中，当程序运行至 M00 时，程序停止执行，同时主



轴停，切削液关闭。在需要时可用 NC 启动命令(CYCLE START)使程序继续运行。

M01: 计划暂停。程序中的 M01 通常与机床操作面板上的“任选停止按钮”配合使用。当“任选停止按钮”为“ON”，执行 M01 时，与 M00 功能相同；当“任选停止按钮”为“OFF”，执行 M01 时，程序不停止。

M03: 主轴正转。从主轴向+Z 方向看去，主轴顺时针方向旋转为正转。

M04: 主轴反转。从主轴向+Z 方向看去，主轴逆时针方向旋转为正转。

M05: 主轴旋转停止。

M08: 冷却液开。

M09: 冷却液关。

M02: 程序停止，程序执行指针不会复位到起始位置。

M30: 程序停止，程序执行指针将复位到起始位置。

四、程序段格式

程序段是可作为一个单位来处理的连续字组，它实际是数控加工程序中的一句。多数程序段是用来指令机床完成(执行)某一个动作。程序的主体是由若干个程序段组成的。各程序段之间用程序段结束符来分开。

1. 程序段格式

数控机床曾经用过固定顺序格式和分隔符程序段格式(也叫分隔符顺序格式)。后者用的分隔符，在 EIA 代码中是 TAB，在 ISO 代码中是 HT，这两种形式已经过时，现在都使用字地址可变程序段格式，又称为字地址格式。对这种格式，程序段由若干个字组成，在此格式程序中，上一段程序中已写明、本程序段里又不必变化的那些字仍然有效，可以不必重写。具体地说，对于模态(续效)G 指令，在前面程序段中已有时可不必重写。在这种格式中，每个程序段长度不固定。例如，在尺寸字中可省略前置零，只写有效数字。各个程序段的长度(即程序字的个数)是可变的，故属于可变程序段格式。

下面列出某程序中的两个程序段：

```
N30 G01 X88.467 Z47.5 F0.4 S250 T3 D3 M08 LF
```

```
N35 X75.4 LF
```

这两段的程序字数相差甚大。当今的数控系统绝大多数对程序段中各类字的排列不要求有固定的顺序，即在同一程序段中各程序字的位置可以任意排列。上列 N30 段也可写成：

```
N30 M08 T3 D3 S250 F0.4 Z47.5 X88.467 G01 LF
```

当然，还有很多种排列形式，它们对数控系统是等效的。在大多数场合，为了书写、输入、检查和校对的方便，程序字在程序段中习惯按一定的顺序排列，如 N、G、X、Y、Z、S、T、M。

2. 常规加工程序的格式

常规加工程序由开始符(单列一段)、程序名(单列一段)、程序主体和程序结束指令(一般单列一段)组成。

程序名位于程序主体之前、程序开始符之后，它一般独占一行。程序名有两种形式。一种是以规定的英文字母(多用 O)打头、后面紧跟若干位数字组成。数字的最多允许位数由