



CAC职业(岗位)培训系列教材

设计
宝典

UG NX 5.0 数控工程师教程

梁新合 王霄 吕建军 编著



化学工业出版社



| 随书附赠光盘 |



CAC 职业(岗位)培训系列教材

设计
宝典

UG NX 5.0 数控工程师教程

梁新合 王霄 吕建军 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分9章,第1~2章分别讲解数控加工自动编程的基础知识和数控加工工艺设计;第3~4章分别介绍UG NX数控加工的基本概念与操作流程、相应的操作实例;第5~6章分别介绍UG NX典型加工方法和后置处理;第7~9章分别讲解锻模上模、手机型腔等零件的UG NX数控加工自动编程的典型综合应用实例。

本书深入浅出,图文并茂,对UG NX数控加工自动编程的理论和具体操作都做了详细的讲解,选用的实例也非常典型,使读者能够快速掌握和运用UG NX数控加工自动编程的相关知识和方法。

本书可作为高等院校理工科本科生、高等职业技术学院数控加工自动编程的培训教程或参考书,同时可作为广大从事数控加工自动编程技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

UG NX 5.0 数控工程师教程 / 梁新合, 王霄, 吕建军编著. —

北京: 化学工业出版社, 2010.3

CAC 职业(岗位)培训系列教材

ISBN 978-7-122-07598-7

I. U… II. ①梁… ②王… ③吕… III. 数控机床-加工-计算机辅助设计-应用软件, UG NX 5.0-技术培训-教材 IV. TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 006599 号

责任编辑: 郭燕春

责任校对: 边涛

装帧设计: 张辉

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市万龙印装有限公司

889mm×1194mm 1/16 印张15¼ 字数436千字 2010年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.80 元(含光盘)

版权所有 违者必究

出版说明

Unigraphics NX (简称UG) 是美国UGS公司推出的集CAD/CAM/CAE于一体的工程应用软件集成系统,在机械、电子、航空、邮电、兵器、纺织等各行业都有应用。其功能强大,涵盖了从概念设计到产品生产的全过程,提供了强大的实体建模技术、高效能的曲面建构能力,与装配功能、工程制图功能以及PDM(生命周期管理)等紧密结合,为设计工作带来了突破性的进展。Unigraphics NX 5.0是Unigraphics NX的最新版本,操作界面也更加友好,大大提高了技术人员的工作效率。

本套丛书是江苏大学机械工程学院数字化制造技术研究所精心组织而推出的。本套丛书是根据学习者的认知规律与实际产品数字化开发与制造商的需求而编写的一套实用丛书。丛书包括:

- 《UG NX 5.0 工程师培训教程》
- 《UG NX 5.0 工程师习题集》
- 《UG NX 5.0 高级设计实例教程》
- 《UG NX 5.0 工业设计师培训教程》
- 《UG NX 5.0 数控工程师培训教程》
- 《UG NX 5.0 数控加工实例教程》

化学工业出版社

吉 阳

前言

Unigraphics NX (简称UG) 是美国UGS公司推出的集CAD/CAE/CAM于一体的工程应用软件集成系统。UGS公司致力于开发全球产品生命周期管理 (PLM) 软件, 拥有客户近5万家, 全球装机量近400万台。UG NX广泛应用于航空航天、汽车、机械以及模具等行业, 自20世纪90年代进入我国市场以来, 以其强大的功能、高端的技术和专业化的服务, 得到越来越广泛的应用。

UG NX 5.0 是UGS公司的新一代数字化产品开发系统, 它具有强大的实体造型、曲面造型、工程制图以及装配功能, 可以进行有限元分析和运动仿真分析, 还能将创建的三维模型直接生成数控代码, 利用数控机床进行加工。

本书以UG NX 5.0为操作平台, 通过“基础知识+典型实例”的形式, 介绍UG NX 5.0数控加工编程的各种技术, 让读者能够快速上手、学以致用。本书共分9章, 第1~2章分别讲解数控加工自动编程的基础知识和数控加工工艺设计; 第3~4章分别介绍UG NX数控加工的基本概念与操作流程; 第5~6章分别介绍UG NX典型加工方法 (如平面铣、型腔铣、等高轮廓铣、固定轴曲面轮廓铣、点位加工、高速加工等) 和后置处理; 第7~9章分别讲解锻模上模, 手机型腔等零件的UG NX数控加工自动编程的典型综合应用实例。

本书深入浅出, 图文并茂, 对UG NX数控加工自动编程的理论和具体操作都做了详细的讲解, 选用的实例也非常典型, 使读者能够快速掌握和运用UG NX数控加工自动编程的相关知识和方法。

为方便读者的学习与参考, 随书附赠光盘, 其中包含所有零件的实例模型。

本书可作为高等院校理工科本科生、高等职业技术学院数控加工自动编程的培训教程或参考书, 同时可作为广大从事数控加工自动编程的技术人员的自学参考书。

本书由河南科技大学梁新合与江苏大学王霄、吕建军编著, 其中第1~3章由王霄、吕建军编写; 第4~6章由吕建军编写; 第7~9章由梁新合、吕建军编写; 全书由梁新合、王霄负责组织与统稿。

书稿编写过程中倾尽全力, 力求精益求精, 由于时间仓促, 加之编者水平有限, 书中不足之处在所难免, 恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 数控加工自动编程的基础知识	1
1.1 数控机床的分类及应用范围	1
1.1.1 数控机床的分类	1
1.1.2 数控机床的应用范围	2
1.2 数控编程常用指令及其格式	3
1.2.1 程序段的一般格式	3
1.2.2 常用的编程指令	4
1.3 自动编程	5
1.3.1 自动编程的基本原理	5
1.3.2 自动编程的主要特点	6
1.4 CAD/CAM 集成数控自动编程系统介绍	7
1.4.1 熟悉系统的功能与使用方法	7
1.4.2 分析加工零件	8
1.4.3 对待加工表面及其约束面进行几何造型	8
1.4.4 确定工艺步骤并选择合适的刀具	9
1.4.5 刀具轨迹的生成及编辑	9
1.4.6 刀具轨迹的验证	9
1.4.7 后置处理	9
1.5 机床坐标系与工件坐标系	9
1.6 刀具的类型及应用场合	10
1.7 与数控自动编程有关的基本概念	11
1.7.1 数控编程的方法	11
1.7.2 程序结构与格式	12
第 2 章 数控加工工艺设计	14
2.1 数控加工工艺概述	14
2.1.1 数控加工工艺的特点	14
2.1.2 数控加工工艺的主要内容	14
2.2 数控加工的工艺性分析	15
2.3 数控加工内容的选择	17
2.4 数控加工工艺方法的选择及加工方案的确定	18
2.4.1 机床的选择	18
2.4.2 加工方法的选择	18
2.4.3 加工方案设计的原则	21
2.5 数控加工工艺路线的设计	21
2.5.1 工序的划分	22
2.5.2 加工余量的确定	22
2.5.3 工步的划分	23
2.5.4 加工顺序的安排	23

2.5.5 数控加工工序与普通工序的衔接	24
2.6 数控加工工序的设计	24
2.6.1 加工路线的确定	24
2.6.2 工件的安装与夹具的选择	26
2.6.3 数控刀具的选择	26
2.6.4 切削用量的选择	27
2.7 对刀点与换刀点的确定	28
2.8 数控加工工艺文件	28
2.8.1 数控加工编程任务书	28
2.8.2 数控加工工序卡	29
2.8.3 数控机床调整单	29
2.8.4 数控加工刀具调整单	30
2.8.5 数控加工程序单	31
2.9 高速加工工艺	31
第3章 UG NX 数控加工应用基础	34
3.1 UG NX 数控加工概述	34
3.1.1 UG NX 数控加工模块的功能及特点	34
3.1.2 UG NX 数控加工中的一些术语	35
3.1.3 UG NX 数控加工的类型	36
3.2 UG NX 数控加工的坐标系	37
3.3 UG NX 数控加工环境介绍	38
3.3.1 初始化加工环境	38
3.3.2 UG NX 数控加工界面介绍	38
3.4 操作导航器	40
3.4.1 操作导航器视图	40
3.4.2 参数继承关系	42
3.4.3 操作导航器的符号	42
3.4.4 操作导航器上的快捷菜单	42
3.5 刀具路径管理	44
3.5.1 生成刀具路径	44
3.5.2 删除刀具路径	45
3.5.3 重播刀具路径	45
3.5.4 列出刀具路径信息	45
3.5.5 刀具路径的模拟	45
3.5.6 刀具路径的编辑	48
3.5.7 输出刀位的文件	48
3.5.8 刀具位置原文件管理器	49
3.6 永久边界	50
3.7 加工参数的预设置	51
3.8 加工操作中的共同选项	55
3.8.1 角控制	55
3.8.2 进刀和退刀的方法	57
3.8.3 指定避让几何	60
3.8.4 机床控制	61

3.9 IPW	62
第4章 UG NX 数控加工操作流程	63
4.1 操作流程	63
4.2 分析几何体	63
4.2.1 创建零件模型	63
4.2.2 创建毛坯	64
4.2.3 建立用于加工的装配模型	64
4.3 建立和修改加工对象父节点组	64
4.3.1 创建程序组	64
4.3.2 创建几何体组	65
4.3.3 创建刀具组	67
4.3.4 创建加工方法组	69
4.4 生成刀轨	70
4.5 刀轨检验	70
4.6 后处理车间工艺文件	70
4.7 UG NX 数控加工快速入门实例	71
第5章 UG NX 典型数控加工方法	83
5.1 平面铣	83
5.1.1 平面铣的基本概念	83
5.1.2 创建平面铣操作	87
5.1.3 几何体	87
5.1.4 参数设置	90
5.1.5 平面铣操作实例	100
5.2 型腔铣	106
5.2.1 型腔铣操作的特点	106
5.2.2 创建型腔铣操作	106
5.2.3 几何体	107
5.2.4 参数设置	110
5.2.5 型腔铣操作实例	117
5.3 等高轮廓铣	120
5.3.1 等高轮廓铣的概述	120
5.3.2 等高轮廓铣特有的参数	121
5.3.3 等高轮廓铣操作实例	123
5.4 固定轴曲面轮廓铣	126
5.4.1 固定轴曲面轮廓铣的概述	126
5.4.2 常用的驱动方式	126
5.4.3 投影矢量	135
5.4.4 切削参数	137
5.4.5 非切削运动	143
5.4.6 固定轴曲面轮廓铣操作实例	148
5.5 点位加工	151
5.5.1 点位加工的概述	151
5.5.2 创建点位加工操作	152
5.5.3 参数的设置	154

5.5.4	循环控制	154
5.5.5	点位加工操作实例	157
5.6	高速加工	161
5.6.1	高速加工概述	161
5.6.2	高速加工方法	162
5.6.3	高速加工与传统方法的比较	162
第 6 章	后置处理	164
6.1	UG NX 后置处理	164
6.2	NX/Post Builder 介绍	165
6.2.1	NX/Post Builder 菜单	165
6.2.2	新建 NX / Post Builder 后处理	165
6.3	NX/Post Builder 参数定义简介	167
6.3.1	机床参数设置	168
6.3.2	程序和刀具路径参数设置	168
6.3.3	数据格式	171
6.3.4	输出设置	172
第 7 章	锻模上模的加工	174
7.1	工件分析和工艺规划	174
7.2	加工步骤	175
7.3	本例小结	197
第 8 章	曲轴锻模的加工	198
8.1	工件分析和工艺规划	198
8.2	加工步骤	198
8.3	本例小结	225
第 9 章	手机型腔的加工	226
9.1	工件分析和工艺规划	226
9.2	加工步骤	226
9.3	本例小结	242

第 1 章 数控加工自动编程的基础知识

1.1 数控机床的分类及应用范围

1.1.1 数控机床的分类

数控机床的种类有很多，其分类方法尚无统一规定。一般可按以下几种方法进行分类。

1. 按工艺用途划分

按照工艺用途的不同，数控机床可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗铣床、数控齿轮加工机床、数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控冲床、数控剪床、数控液压机床等。

2. 按运动方式划分

按运动方式，即刀具与工件相对运动方式的不同，数控机床可分为点位控制、直线控制和轮廓控制 3 种，如图 1-1 所示。

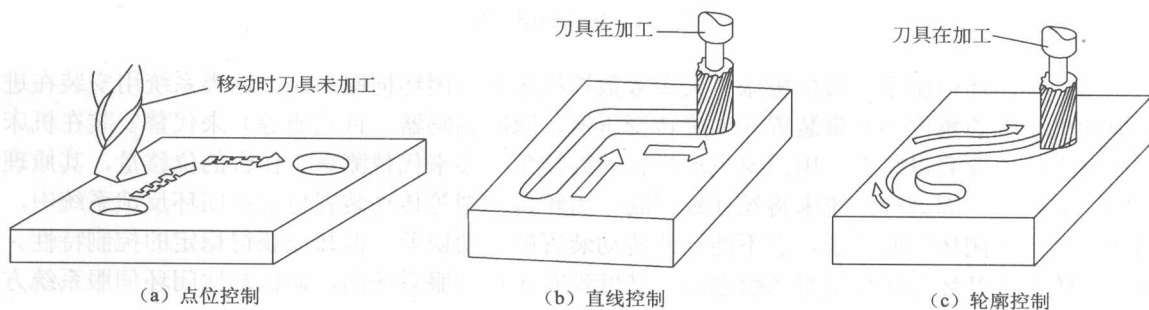


图 1-1 数控机床分类

3. 按伺服系统类型划分

按伺服系统类型的不同，数控机床可以分为开环伺服系统数控机床、闭环伺服系统数控机床和半闭环伺服系统数控机床。

(1) 开环伺服系统数控机床 这是一种比较原始的数控机床。这类机床的数控系统将零件的程序进行处理后，输出数据指令给伺服系统，驱动机床运动，没有来自位置传感器的反馈信号。最典型的系统就是采用步进电动机的伺服系统，如图 1-2 所示。它一般由步进电动机驱动器、步进电动机、齿轮箱等组成。数控系统每发出一个指令脉冲，经步进电动机驱动器功率放大后，驱动步进电动机旋转固定的角度（即步距角），再经传动机构带动工作台移动。这类系统的信息流是单向的，即进给脉冲发出去以后，实际移动值不再反馈回来，所以称为开环伺服系统。这类机床较为经济，但加工速度和加工精度较低。

(2) 闭环伺服系统数控机床 这类机床带有位置测量装置，直接对工作台的位移量进行检测，其原理如图 1-3 所示。当数控系统发出位移指令脉冲，经电动机和机械传动装置使机床工作台移动时，安装在工作台上的位置测量装置把位移量转换成电信号，反馈到输入端与输入信号进行比较，得到的差值经过放大和变换，最后驱动工作台向减少误差的方向移动，直到差值

等于零。由于这类控制系统把机床工作台纳入了位置控制环，故称为闭环伺服系统。该系统可以消除包括工作台传动链在内的运动误差，因而定位精度高、调节速度快。但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响，给调试工作带来较大困难。如果各种参数匹配不当，将会引起系统振荡，造成不稳定，影响定位精度。由于闭环伺服系统结构复杂且成本高，故适用于精度要求很高的数控机床，如精密数控镗铣床、超精密数控车床等。

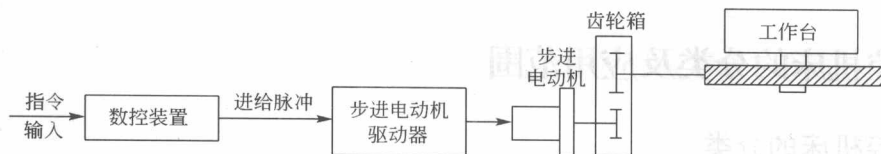


图 1-2 采用步进电动机的伺服系统

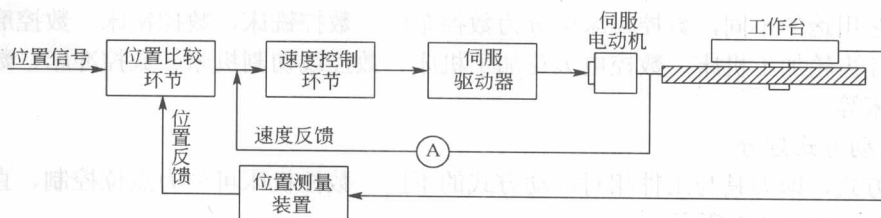


图 1-3 闭环伺服系统

(3) 半闭环伺服系统数控机床 大多数数控机床是半闭环伺服系统，这类系统用安装在进给电动机轴端的角位移测量装置（如旋转变压器、脉冲编码器、目光栅等）来代替安装在机床工作台上的位置测量装置，用测量电动机轴的旋转角位移来代替测量工作台的位移量，其原理如图 1-4 所示。因这种系统未将丝杠螺母副、齿轮传动副等传动装置包含在闭环反馈系统中，因而称之为半闭环伺服系统，它不能补偿传动装置的传动误差，但却能获得稳定的控制特性。这类系统介于开环与闭环伺服系统之间，精度没有闭环伺服系统高，调试却比闭环伺服系统方便，因而得到了广泛的应用。

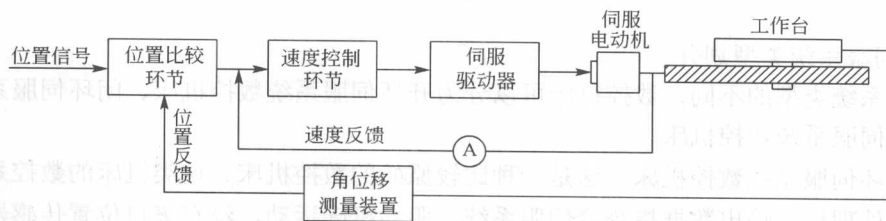


图 1-4 半闭环伺服系统

4. 按数控系统的功能水平划分

按数控系统的功能水平的不同，数控机床可分为低档、中档和高档 3 种。

除了上述几种分类方法以外，还有其他的分类方法，例如按控制轴数和联动轴数可分为几轴联动等多种数控机床；按数控机床功能多少可分为经济型数控机床和全功能型数控机床等。

1.1.2 数控机床的应用范围

(1) 数控车床 主要用来加工轴类零件的内外圆柱面、圆锥面、螺纹表面、成形回转体面

等；对于盘类零件可以进行钻孔、扩孔、绞孔、镗孔等；机床还可以完成车端面、切槽、倒角等加工。

(2) 数控铣床 适于加工三维复杂曲面，在汽车、航空航天、模具等行业被广泛采用。可分为数控立式铣床、数控卧式铣床、数控仿形铣床等。

(3) 加工中心 一般带有自动刀具交换装置（ATC）的数控镗铣床，被称为加工中心。它可以进行铣、镗、钻、扩、铰、攻丝等多种工序的加工。它不包括磨削功能，因为微细的磨粒可能进入机床导轨，从而破坏机床的精度，而磨床上有特殊的保护措施。加工中心可分为立式加工中心、卧式加工中心。立式的主轴是垂直方向的，卧式的主轴是水平方向的。

(4) 数控钻床 可分为立式钻床和卧式钻床。主要完成钻孔、攻丝功能，同时也可以完成简单的铣削功能。刀库可以存放多种刀具。

(5) 数控磨床 用在加工高硬度、高精度表面。可分为平面磨床、内圆磨床、轮廓磨床等。随着自动砂轮补偿技术、自动砂轮修整技术和磨削固定循环技术的发展，数控磨床的功能越来越强大。

(6) 数控电火花成形机床 这种加工方法是利用两个不同极性的电极在绝缘体中产生放电腐蚀现象，去除材料进而完成加工。它适用于形状复杂的模具、难加工的材料。

(7) 数控线切割机床 加工原理与电火花成形机床一样，电极采用电机丝，加工液一般采用去离子水。

1.2 数控编程常用指令及其格式

数控程序由一系列程序段和程序块构成。程序段是可作为一个单位来处理的连续的字组，它实际是数控加工程序中的一段程序。每一程序段用于描述准备功能、刀具坐标位置、工艺参数或辅助功能等。国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）对数控机床的坐标轴或运动方向、数控程序的编码字符和程序段格式、准备功能和辅助功能等制定了若干标准和规范。下面主要介绍常用的（一般均是标准的）数控编程指令及其格式。

1.2.1 程序段的一般格式

一个程序段中各指令的格式可用下面的例子来说明。

N03 G01 X50.1 Y35. Z-25. F150. S04 T04 M03

其中 N03 为程序段号，现代 CNC 系统中很多都不要求程序段号，即程序段号是可有可无的；G 代码为准备功能，G01 表示直线插补，一般可用 G1 代替，即可以省略前导 0；X、Y、Z 为刀具运动的终点坐标位置，现代 CNC 系统中一般都对坐标值的小数点有严格的要求（有的系统可以用参数进行设置），例如 32 应写成“32.”，否则有的系统会将 32 视为 32μm，而不是 32mm，而有的系统则视为 32mm，写成“32.”则肯定表示是 32mm；F 为进给速度代码；S04 为主轴转速；T04 为所使用刀具的刀号；M03 为辅助功能指令。

表 1-1 列举了现代 CNC 系统中各编码字符的意义。

表 1-1 编码字符的意义

字 符	意 义	字 符	意 义
A	关于 X 轴的角度尺寸	M	辅助功能
B	关于 Y 轴的角度尺寸	N	顺序号
C	关于 Z 轴的解度尺寸	O	程序编号
D	刀具半径偏置号	P	平行于 X 轴的第三尺寸，也有的定义为固定循环参数
E	第二进给功能	Q	平行于 Y 轴的第三尺寸，也有的定义为固定循环参数

续表

字 符	意 义	字 符	意 义
F	第一进给功能	R	平行于 Z 轴的第三尺寸，也有的定义为固定循环参数、圆弧的半径等
G	准备功能	S	主轴速度功能
H	刀具长度偏置号	T	第一刀具功能
I	平行于 X 轴的插补参数或螺纹导程	U	平行于 X 轴的第二尺寸
J	平行于 Y 轴的插补参数或螺纹导程	V	平行于 Y 轴的第二尺寸
K	平行于 Z 轴的插补参数或螺纹导程	W	平行于 Z 轴的第二尺寸
L	有的定义为固定循环返回次数，也有的定义为子程序返回次数	X, Y, Z	基本尺寸

1.2.2 常用的编程指令

表 1-1 中所列举的数控程序编码字符，有的是不常用的，有的只适用于某些特殊的数控机床。这里主要介绍一些常用的编程指令，对于那些不常用的编码字符和编程指令，读者可参考相应的数控机床编程手册。

1. 准备功能指令

准备功能指令由字符 G 和其后的 1~3 位数字组成，常用的为 G00~G99。JB/T 3208—1999 标准中规定的准备功能指令见表 1-2。

表 1-2 准备功能指令

代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能	代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
G00	a		点定位	G44	#(d)	#	刀具偏置（负）
G01	a		直线插补	G45	#(d)	#	刀具偏置++
G02	a		顺时针圆弧插补	G46	#(d)	#	刀具偏置+/-
G03	a		逆时针圆弧插补	G47	#(d)	#	刀具偏置-/-
G04		*	暂停	G48	#(d)	#	刀具偏置-/+
G05	#	#	不指定	G49	#(d)	#	刀具偏置 0/+
G06	a		抛物线插补	G50	#(d)	#	刀具偏置 0/-
G07	#	#	不指定	G51	#(d)	#	刀具偏置+0
G08		*	加速	G52	#(d)	#	刀具偏置-0
G09		*	减速	G53	f		直线偏移注销
G10—G16	#	#	不指定	G54	f		直线偏移 X
G17	c		XY 平面选择	G55	f		直线偏移 Y
G18	c		ZX 平面选择	G56	f		直线偏移 Z
G19	c		YZ 平面选择	G57	f		直线偏移 XY
G20—G32	#	#	不指定	G58	f		直线偏移 XZ
G33	a		螺纹切削，等螺距	G59	f		直线偏移 YZ
G34	a		螺纹切削，增螺距	G60	h		准确定位 1（精）
G35	a		螺纹切削，减螺距	G61	h		准确定位 2（中）
G36—G39	#	#	永不指定	G62	h		准确定位（粗）
G40	d		刀具补偿/刀具偏置注销	G63	*		攻丝
G41	d		刀具补偿（左）	G64—G67	#	#	不指定
G42	d		刀具补偿（右）	G68	#(d)	#	刀具偏置，内角
G43	#(d)	#	刀具偏置（正）	G69	#(d)	#	刀具偏置，外角

续表

代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能	代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
G70—G79	#	#	不指定	G93	k		时间倒数, 进给率
G80	e		固定循环注销	G94	k		每分钟进给
G81—G89	e		固定循环	G95	k		主轴每转进给
G90	j		绝对尺寸	G96	i		恒线速度
G91	J		增量尺寸	G97	i		每分钟转数 (主轴)
G92		*	预置寄存	G98—G99	#	#	不指定

2. 辅助功能指令

辅助功能指令亦称 M 指令, 由字符 M 和其后的两位数字组成。该类指令表示运行时, 产生的相应的 BCD 代码和选通信号。包括 M00~M99, 共 100 种。这类指令大多数是用于机床加工操作时的工艺性指令。常用的 M 指令有以下几种。

- (1) M00——程序停止 在执行完 M00 指令程序段之后, 主轴停转、进给停止、冷却液关闭、程序停止。当单击机床控制面板上的“循环启动”按钮之后, 继续执行下一程序段。
- (2) M01——选择程序停止 该指令的作用与 M00 相似。不同的是, 该指令必须预先在操作面板上, 单击“任选停止”按钮, 当执行完 M01 指令程序段之后, 程序停止; 如果不单击“任选停止”按钮, 则 M01 指令无效。
- (3) M02——程序结束 该指令用于程序全部结束时, 命令主轴停转、进给停止及冷却液关闭。常用于机床复位及纸带倒回到“程序开始”字符。
- (4) M03、M04、M05 分别为主轴顺时针旋转、主轴逆时针旋转及主轴停止。
- (5) M06——换刀 用于具有刀库的数控机床 (如加工中心) 的换刀功能。
- (6) M08——冷却液开 打开冷却液。
- (7) M09——冷却液关 关闭冷却液。
- (8) M30 程序结束并返回。

3. 其他常用的功能指令

- (1) T 功能——刀具功能 Tnn 代码用于选择刀具库中的刀具, 但并不执行换刀操作, M06 用于启动换刀操作。Tnn 不一定要放在 M06 之前, 只要放在同一程序段中即可 (在有的数控车床上, T 具有换刀功能)。
- (2) S 功能——主轴速度功能 S 代码后的数值为主轴转速, 要求为整数, 速度范围为从 1 到最大的主轴转速。在零件加工之前一定要先启动主轴运转 (M03 或 M04)。对于数控车床, 可以指定恒表面切削速度。
- (3) F 功能——进给速度/进给率功能 在只有 X、Y、Z 3 个坐标运动的情况下, F 代码后面的数值表示刀具的运动速度, 单位为 mm/min (数控车床还可为 mm/rev)。如果运动坐标有转角坐标 A、B、C 中的任何一个, 则 F 代码后的数值表示进给率, 即 $F=1/\Delta t$, Δt 为走完一个程序段所需要的时间, F 的单位为 1/min。在程序启动第一个 G01 或 G02 或 G03 功能时, 必须同时启动 F 功能。当前 F 值在下一个新的 F 值之前保持不变。

1.3 自动编程

1.3.1 自动编程的基本原理

自动编程是通过数控自动编程系统实现的。数控自动编程系统如图 1-5 所示, 由硬件和软

件两部分组成。硬件主要有计算机、显示器、打印机及其他一些外围设备；软件即计算机自动编程系统软件，又称编译软件。自动编程的工作过程如图 1-6 所示。

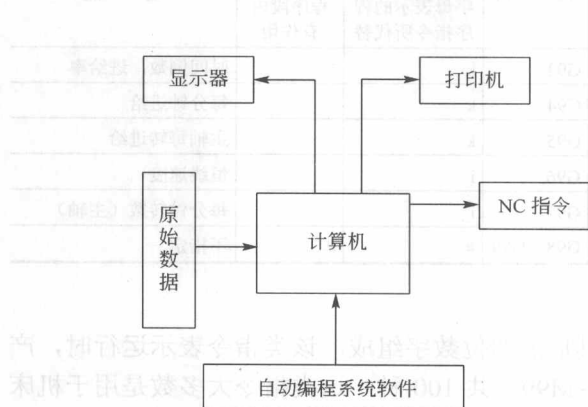


图 1-5 数控自动编程系统的组成

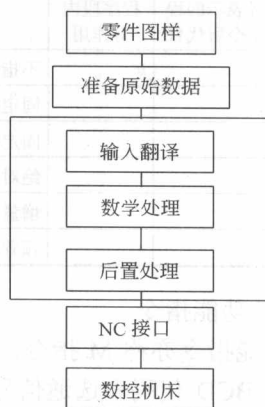


图 1-6 自动编程的工作过程

1. 准备原始数据

自动编程系统不会自动地编制出完美的数控程序。首先，人们必须给计算机输入必要的原始数据，这些原始数据描述了被加工零件的所有信息，包括零件的几何形状，尺寸和几何要素之间的相互关系，刀具运动轨迹和工艺参数等。原始数据的表现形式随着自动编程技术的发展越来越多样化，它可以是用数控语言编写的零件源程序，也可以是零件的图形信息，还可以是操作者发出的指令声音等。这些原始数据是人工准备的，当然它比直接编制数控程序要简单、方便得多。

2. 输入翻译

原始数据以某种方式输入计算机后，计算机并不能立即识别和处理，必须预先通过一套存放在计算机中的自动编程系统软件将其翻译成计算机能够识别和处理的形式。计算机自动编程系统软件品种繁多，原始数据的输入方式不同，编程系统软件就不一样，即使是同一种输入方式，也有很多种不同的编程系统软件。

3. 数学处理

这部分主要是根据已经翻译的原始数据，计算出刀具相对于工件的运动轨迹。编译和计算合称为前置处理。

4. 后置处理

后置处理就是编程系统将前置处理的结果，处理成数控机床所需要的具体的输入信息，即形成零件加工的数控程序。

5. 输出程序

将后置处理得到的程序输入穿孔机，如是就能制成穿孔纸带，用于数控机床的输入；也可利用磁盘传输，目前更多的是利用计算机和数控机床的通信接口，直接把程序信息输入数控机床，控制数控机床的加工，抑或边输入边加工；还可利用打印机打印输出，制成程序单。

1.3.2 自动编程的主要特点

与手工编程相比，自动编程速度快、质量好，这是因为自动编程具有以下主要特点。

1. 数学处理能力强

对轮廓形状不是由简单的直线、圆弧组成的复杂零件，特别是空间曲面零件，以及几何要素虽不复杂，但程序量很大的零件，对它们的计算则相当繁琐，采用手工编程是难以完成的。例如，对一般二次曲线轮廓，手工编程必须采取直线找圆弧逼近的方法，算出各节点的坐标值，

其中列算式、解方程,虽说能借助计算机进行计算,但工作量之大是难以想象的。而自动编程借助于系统软件强大的数学处理能力,人们只需给计算机输入该二次曲线的描述语句,计算机就能自动计算出加工该曲线的刀具轨迹,快速而又准确。功能较强的自动编程系统还能处理手工编程难以胜任的二次曲面和特种曲面。

2. 能快速、自动生成数控程序

对非圆曲线的轮廓加工,手工编程即使解决了节点坐标的计算,但也往往因节点数过多、程序段很大,而使编程工作既慢又容易出错。自动编程的一大优点,就是在完成计算刀具运动轨迹之后,后置处理程序能在极短的时间内自动生成数控程序,且该数控程序不会出现语法错误,不过自动生成程序的速度还取决于计算机的硬件水平,硬件计算能力越强,速度越快。

3. 后置处理程序灵活多变

同一个零件在不同的数控机床上加工,由于数控系统的指令形式不相同,机床的辅助功能也不一样,伺服系统的特性也有差别,因此,数控程序也不一样。但在前置处理过程中,大量的数学处理、轨迹计算却是一致的,这就是说,前置处理是可以通用的,只要稍微改变一下后置处理程序就能自动生成适用于不同数控机床的数控程序。后置处理与前置处理相比,工作量要小得多,但它灵活多变,且适用于不同的数控机床。

4. 程序自检、纠错能力强

复杂零件的数控加工程序往往很长,企求编程一次成功是不现实的。手工编程时,可能有书写笔误,可能算式有问题,也可能程序格式出错,靠人工检查出所有错误是很难的,且费时又费力。采用自动编程,可以避免人为操作失误或计算误差,从而减少程序错误。自动编程能够借助计算机在屏幕上对数控程序进行动态模拟,连续、逼真地显示刀具的运动轨迹和零件的加工轮廓,对发现的问题能及时进行修改,快速又方便。现在,往往在前置处理阶段,计算出刀具的运动轨迹以后立即进行动态模拟检查,待确定无误后再进入后置处理阶段,从而能够编写出正确的数控程序。

5. 便于实现与数控系统的通信

一般将自动编程生成的数控程序制成穿孔纸带输入数控系统,控制数控机床进行加工。如果数控程序很长,而数控系统的容量有限,不足以容纳整个数控程序,则必须对数控程序进行分段处理,分批输入。自动编程系统通信可以把自动生成的数控程序经通信接口直接输入数控系统,控制数控机床加工,无需再制备穿孔纸带等控制介质,而且可以做到边输入、边加工,不必考虑因数控系统容量不够大而必须将数控程序分段了。自动编程的通信功能进一步提高了编程效率,缩短了生产周期。

自动编程技术优于手工编程,这是不容置疑的。但并不是说必须选择自动编程,编程方法的选择必须考虑被加工零件形状的复杂程度、数值计算的难度和工作量的大小、现有设备条件(计算机、编程系统等)以及时间和费用等诸多因素。一般加工形状简单的零件,例如点位加工或直线切削零件,用手工编程所需的时间和费用与计算机自动编程所需的时间和费用相差不大,这时采用手工编程比较合适。

手工编程在本书中不做详细介绍,只是与自动编程相比较,从而更好地理解 and 掌握自动编程。

1.4 CAD/CAM 集成数控自动编程系统介绍

1.4.1 熟悉系统的功能与使用方法

在使用一个 CAD/CAM 集成数控编程系统进行零件数控加工自动编程之前,应对该系统的功能及使用方法有一个比较全面的了解。

1. 了解系统的功能框架

对于 CAD/CAM 集成数控编程系统, 首先应了解其总体功能框架, 包括造型设计、二维工程绘图、装配、模具设计、制造等功能模块, 以及每一个功能模块所包含的内容, 特别应关注造型设计中的草图设计、曲面设计、实体造型以及特征造型的功能, 因为这些都是数控加工编程的基础。

2. 了解系统的数控加工编程能力

对于数控加工编程, 至关重要的是系统的数控加工编程能力。一个系统的数控加工编程能力主要体现在以下几个方面。

(1) 适用范围是否包括车削、铣削、线切割 (EDM) 等。

(2) 可编程的坐标数是否包括点位、二坐标、三坐标、四坐标以及五坐标。

(3) 可编程的对象是否包括多坐标点位加工编程、表面区域加工编程 (是否具备多曲面区域的加工编程)、轮廓加工编程、曲面交线及过渡区域加工编程、型腔加工编程、曲面通道加工编程等。

(4) 是否具备刀具轨迹的编辑功能, 编辑手段是否包括刀具轨迹变换、裁剪、修正、删除、转置、匀化 (刀位点加密、浓缩和筛选)、分割及连接等。

(5) 是否具备刀具轨迹验证的能力, 验证手段是否包括刀具轨迹仿真、刀具运动过程仿真、加工过程模拟、截面法验证等。

3. 熟悉系统的界面和使用方法

通过系统提供的手册、例子或教程, 熟悉系统的操作界面和风格, 掌握系统的使用方法。

4. 了解系统的文件管理方式

对于一个零件的数控加工编程, 最终要得到的是能在指定的数控机床上完成对该零件加工的正确数控程序, 该程序是以文件形式存在的。在实际编程中, 往往还要构造一些中间文件, 如零件模型 (或加工单元) 文件、工作过程文件 (日志文件)、几何元素 (曲线、曲面) 的数据文件、刀具文件、刀位原文件、机床数据文件等。在使用之前应该熟悉系统对这些文件的管理方式以及它们之间的关系。

1.4.2 分析加工零件

当拿到待加工的零件图样或工艺图样 (特别是复杂曲面零件和模具图样) 时, 首先应对图样进行仔细的分析, 内容包括以下几个方面。

1. 分析待加工表面

一般来说, 在一次加工中, 只需对加工零件的部分表面进行加工。这一步骤的内容是: 确定待加工表面及其约束面, 并对其几何定义进行分析, 必要的时候需对原始数据进行一定的预处理, 要求所有几何元素的定义具有唯一性。

2. 确定加工方法

根据零件毛坯形状以及待加工表面及其约束面的几何形态, 并根据现有的机床设备, 确定零件的加工方法及所需的机床设备和工夹具。

3. 确定编程原点及编程坐标系

一般根据零件的基准面 (或孔) 的位置以及待加工表面及其约束面的几何形态, 在零件毛坯上选择一个合适的编程原点及编程坐标系 (称为工件坐标系)。

1.4.3 对待加工表面及其约束面进行几何造型

这是数控加工编程的第一步。对于 CAD/CAM 集成数控编程系统来说, 一般可根据几何元素的定义方式, 在前面零件分析的基础上, 对加工表面及其约束面进行几何造型。