

数控编程与操作

主编 张海军

主审 任乃飞

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部《关于加强高职高专教材建设的若干意见》文件的精神,并结合编者多年来数控加工与编程的教学、科研和工程实践的经验编写的。

本书以数控编程与操作技能为主导,从实际应用的需要出发,比较详细地介绍了采用主流数控系统(如FANUC、SINUMERIK等)的数控机床的编程方法与加工操作。全书共6章,第1、2章介绍了数控加工与编程技术基础及数控加工工艺基础知识;第3章介绍了数控车床编程与操作;第4章介绍了数控铣床编程与操作;第5章介绍了数控加工中心编程与操作;第6章介绍了数控电火花线切割机床编程与操作。

本书编写力求理论表述简洁易懂,步骤清晰明了,便于初学者学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作/张海军主编. —重庆:重庆大学出版社,2006.7

(数控技术应用专业高职高专系列教材)

ISBN 7-5624-3606-1

I. 数... II. 张... III. ①数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材②数控机床—操作—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 055392 号

数控编程与操作

主编 张海军

主审 任乃飞

责任编辑:彭 宁 版式设计:彭 宁

责任校对:李定群 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:7.75 字数:193千

2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5624-3606-1 定价:12.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

随着全球化的加速,许多发达国家和跨国公司看好中国市场,将部分制造业进一步向中国转移。改革开放以来,中国制造业得到快速发展,取得了骄人的业绩,但与发达国家相比还存在相当大的差距。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技术,虽然我国制造业已开始广泛使用先进的数控技术,但掌握数控技术的机电复合型人才奇缺,其中仅数控机床的操作、编程、维修人员的缺口就达 60 多万人,加速培养掌握数控技术的应用型人才已成为当务之急。

中国制造业提升发展的关键是人才,我国数控技术人才不仅数量上奇缺,而且质量上也存在一定缺陷,即他们的知识、能力结构不能适应和满足现代制造业的需求。“中国制造业”的发展呼唤我国高职数控技术专业要适应市场需求,改革现行的课程体系、教学内容和教学方式,对传统的以学科为主线的教学内容进行必要的整合,适当降低理论深度难度,拓宽知识面,加强岗位能力需要的新技术、新知识。本教材以培养从事数控编程与操作的职业能力为目标,将必要的知识支撑点融于能力培养的过程中,注重实践教学,注重知识的综合应用,将数控机床编程与操作有机结合起来,以满足制造业发展对人才的需求。

在我国大力发展高等职业教育的今天,适合于高等职业教育的高职高专教材建设已提上重要的议事日程。本书是按高职高专教学要求,在编者多年教学实践的基础上,以培养和提高学生在数控加工过程中的工艺分析、编程能力以及实际加工的操作技能为目标进行编写的。本书以数控编程与操作技能为主导,从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念,比较详实地介绍了采用主流数控系统(如 FANUC, SINUMERIK 等)的数控机床的编程方法与加工操作,各章附有思考与练习题,可供学生练习或作为实训课题。本书编写力求理论表述简洁易懂,步骤清晰明了,便于初学者学习使用。

本书第1章,第2章和第6章由淮安信息职业技术学院张海军编写;第3章由叶畅编写;第4章,第5章由尹昭辉编写。张海军为主编,江苏大学机械学院任乃飞教授审阅,他为本书的编写提出了许多宝贵的建议,在此表示感谢。全书由张海军负责统稿和定稿。

由于编者的水平和经验所限,书中难免有欠妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。编者电子邮件地址:hy_hj@163.com。

编 者

2005年10月

目 录

第 1 章 数控加工与编程概述	1
1.1 数控机床概述	1
1.2 数控加工概述	5
1.3 数控编程基础	8
思考与练习题	16
第 2 章 数控加工工艺设计基础	18
2.1 数控加工工艺概述	18
2.2 数控加工工艺设计	19
2.3 数控加工技术文件的编写	25
思考与练习题	27
第 3 章 数控车床编程与操作	28
3.1 数控车床加工概述	28
3.2 数控车床的基本编程方法	31
3.3 数控车床的基本操作	44
3.4 数控车床编程与加工实例	52
思考与练习题	57
第 4 章 数控铣床编程与操作	59
4.1 数控铣床加工概述	59
4.2 数控铣床的基本编程方法	61
4.3 数控铣床的基本操作	73
4.4 数控铣床编程与加工实例	81
思考与练习题	85
第 5 章 数控加工中心编程与操作	87
5.1 加工中心加工概述	87
5.2 加工中心的基本编程方法	88

5.3	加工中心的基本操作	91
5.4	加工中心编程与加工实例	94
	思考与练习题.....	98
第6章	数控电火花线切割机床编程与操作.....	99
6.1	数控电火花线切割机床加工概述	99
6.2	数控电火花线切割机床的基本编程方法.....	102
6.3	数控电火花线切割机床的基本操作.....	105
6.4	数控线切割机床编程与加工实例.....	110
	思考与练习题	113
	参考文献	115

第 1 章

数控加工与编程概述

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的产生

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是装备了数控系统的机床。数控系统是采用数字控制技术的自动控制系统,它能够自动识别并处理使用规定的数字和文字编码的程序,从而控制机床完成预定的加工操作。

随着社会生产和科学技术的飞速发展,机械制造技术发生了深刻的变化,机械产品日趋精密复杂,且改型频繁,尤其是在宇航、军事、造船等领域所需的零件,精度要求高,形状复杂,批量又小。传统的普通机械加工设备已难以适应市场对产品多样化的要求,为了满足上述要求,以数字控制技术为核心的新型数字程序控制机床应运而生。

1952年,美国帕森斯(Parsons)公司与美国麻省理工学院(MIT)合作,试制成功世界上第一台三坐标数控铣床,当时的数控装置采用电子管元件。50多年来,数控机床经历了电子管、晶体管、小规模集成电路、大规模集成电路、专用计算机、通用计算机和计算机网络等多个时代的发展,是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的典型的机电一体化产品。

1.1.2 数控机床的组成与工作过程

(1)数控机床组成与结构

数控机床由数控系统和机床本体两大部分组成,数控系统是由输入输出装置、数控装置、可编程控制器、伺服系统、检测反馈装置等组成,如图 1.1 所示。

1)输入输出装置

输入装置可将不同加工信息传递给计算机。在数控机床产生的初期,输入装置为穿孔纸带,现已趋于淘汰;目前,使用键盘、磁盘等,极大地方便了信息输入工作。随着计算机辅助设

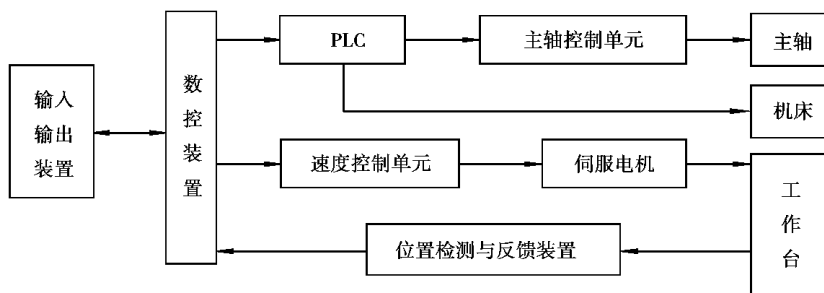


图 1.1 数控机床的组成

计与制造技术的发展,有些数控机床可利用 CAD/CAM 软件在通用计算机上编程,然后通过计算机与数控机床之间的通信接口,将程序与数据直接传送给数控装置。

输出装置输出系统内部工作参数(含机床正常、理想工作状态下的原始参数,故障诊断参数等),显示命令与图形等。

2) 数控装置

数控装置是数控机床的核心和主导,接受外部输入的加工程序和各种控制命令,识别这些程序和命令并进行运算处理,然后输出控制命令,最终实现数控机床各功能的指挥工作。现在的数控机床一般都采用微型计算机作为数控装置,这种数控装置称为计算机数控(CNC)装置。

3) 可编程控制器

可编程序控制器即 PLC,它对主轴单元实现控制,将程序中的转速指令进行处理而控制主轴转速;管理刀库,进行自动刀具交换、选刀方式、刀具累计使用次数、刀具剩余寿命及刀具刃磨次数等管理;控制主轴正反转和停止、准停、切削液开关、卡盘夹紧松开、机械手取送刀等动作;还对机床外部开关(行程开关、压力开关、温控开关等)进行控制;对输出信号(刀库、机械手、回转工作台等)进行控制。

4) 检测反馈装置

由检测元件和相应的电路组成,主要是检测速度和位移,并将信息反馈于数控装置,实现闭环控制以保证数控机床加工精度。

5) 机床本体

机床本体即数控机床的机械部分,包括床身、主轴、进给传动机构等机械部件。

(2) 数控机床工作过程

数控机床的工作过程大致包括如下几个步骤,如图 1.2 所示。

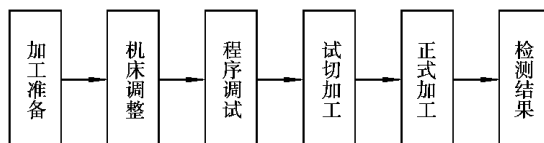


图 1.2 数控机床的工作过程

数控加工的准备过程较复杂,内容多。首先根据被加工零件图纸所规定的零件形状、尺寸、材料及技术要求等,进行工艺分析,制订工艺方案,然后再将加工顺序、切削用量、刀具与工件相对运动的轨迹和距离等,使用专用代码,编制数控加工程序,另外还要选择工装、辅具及其

使用方法等。

机床的调整主要包括刀具命名、调入刀库、工件安装、对刀、测量刀位、机床各部位状态等多项工作内容。

程序调试主要是对程序本身的逻辑问题及其设计合理性进行检查和调整。

试切加工则是对零件加工设计方案进行动态下的评估。

试切成功后方可对零件进行正式加工,并对加工后的零件进行结果检测。

前三步工作均为待机时间,为提高工作效率,希望待机时间越短越好,越有利于机床合理使用。该项指标直接影响对机床利用率的评价(即机床实动率)。

1.1.3 数控机床的分类

(1)按数控系统的功能分类

1)普通数控机床

普通数控机床一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床,如数控铣床、数控车床、数控钻床、数控磨床与数控齿轮加工机床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成。

2)加工中心

加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床,它将铣削、镗削、钻削、攻螺纹等功能集中在一台设备上,零件在一次装夹后,可以对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰及攻螺纹等多工序加工。由于加工中心能有效地避免由于多次安装造成的定位误差,因此它适用于产品更换频繁、零件形状复杂、精度要求高、生产批量不大而生产周期短的产品。

(2)按运动方式分类

1)点位控制数控机床

如图 1.3 所示,点位控制是指数控系统只控制刀具或工作台从一点移至另一点的准确定位,然后进行定点加工,而点与点之间的路径不需控制。采用这类控制的有数控钻床、数控冲床和数控坐标镗床等。

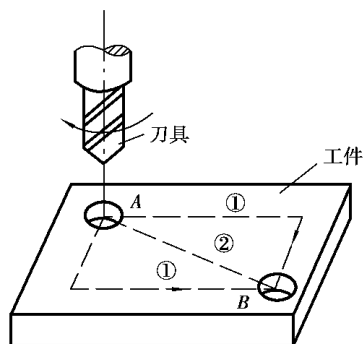


图 1.3 点位控制数控机床移动示意图

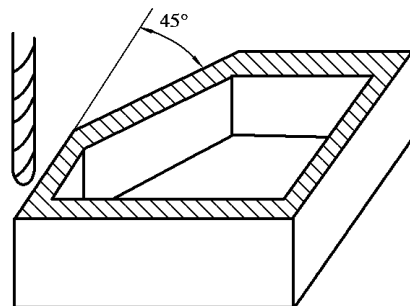


图 1.4 点位直线控制数控机床加工示意图

2)点位直线控制数控机床

如图 1.4 所示,点位直线控制是指数控系统除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外,还要控制在这两点之间以指定的进给速度,沿平行于某坐标轴或与某坐标轴呈 45° 的斜线方向进行直线切削加工。采用这类控制的有简易数控镗铣床和数控磨床等。

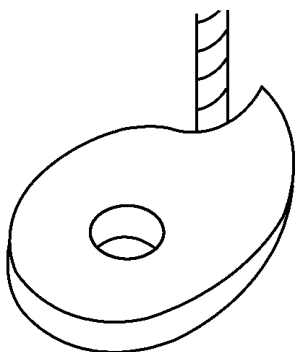


图 1.5 轮廓控制数控机床加工示意图

3) 轮廓控制数控机床

亦称连续轨迹控制,如图 1.5 所示,多采用两坐标或多坐标联动控制。为了使刀具按规定的轨迹加工工件的曲线轮廓,数控装置具有插补运算的功能,使刀具的运动轨迹以最小的误差逼近规定的轮廓曲线,并协调各坐标方向的运动速度,以便在切削过程中始终保持规定的进给速度。采用这类控制的有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控线切割机床和加工中心等。

(3) 按联动轴数分类

数控系统控制几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动,称为坐标联动,按照联动轴数可以分为:

1) 两轴联动

数控机床能同时控制两个坐标轴联动,适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

2) 两轴半联动

在两轴的基础上增加了 Z 轴的移动,当机床坐标系的 X, Y 轴固定时, Z 轴可以作周期性进给。两轴半联动加工可以实现分层加工。

3) 三轴联动

数控机床能同时控制三个坐标轴的联动,用于一般曲面的加工,一般的型腔模具均可以用三轴联动的数控铣床加工完成。

4) 多坐标联动

数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动。多坐标数控机床的结构复杂,精度要求高、程序编制复杂,适于加工形状复杂的零件,如叶轮、叶片类零件。

通常三轴机床可以实现二轴、二轴半、三轴加工;五轴机床也可以只用到三轴联动加工,而其他两轴不联动。

(4) 按控制方式分类

1) 开环控制系统

开环控制系统是指不带反馈装置的控制系统,由步进电机驱动线路和步进电机组成,如图 1.6 所示。数控装置经过控制运算发出脉冲信号,每一脉冲信号使步进电机转动一定的角度,通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。

这种伺服机构比较简单,工作稳定,容易掌握使用,但精度和速度的提高受到限制。

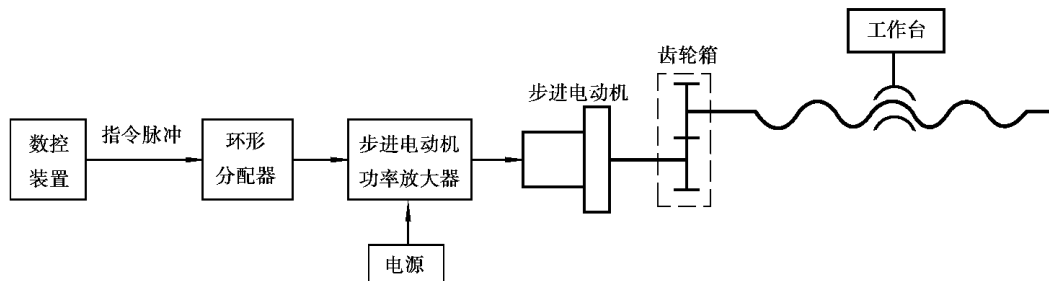


图 1.6 开环控制系统

2) 半闭环控制系统

如图 1.7 所示,半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置,通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控装置的比较器中,与输入原指令位移值进行比较,用比较后的差值进行控制,使移动部件补充位移,直到差值消除为止的控制系统。

这种伺服机构所能达到的精度、速度和动态特性优于开环伺服机构,为大多数中小型数控机床所采用。

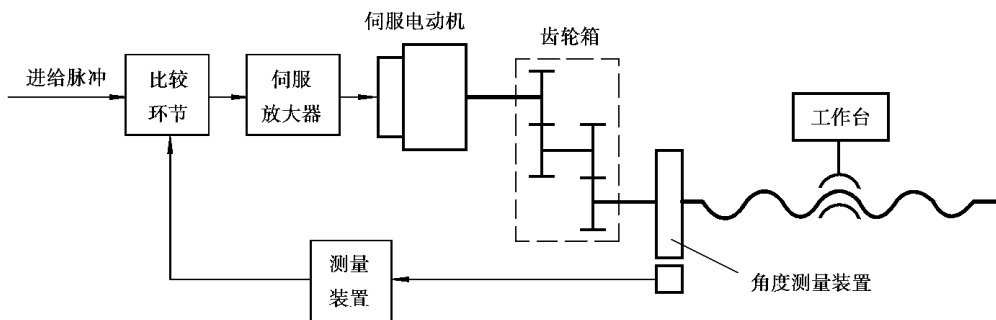


图 1.7 半闭环控制系统

3) 闭环控制系统

如图 1.8 所示,闭环控制系统是在机床移动部件上直接装有直线位置检测装置,将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中,与输入的原指令位移值进行比较,用比较后的差值控制移动部件做补充位移,直到差值消除时才停止移动,达到精确定位的控制系统。

闭环控制系统的定位精度高于半闭环控制,但结构比较复杂,调试维修的难度较大,常用于高精度和大型数控机床。

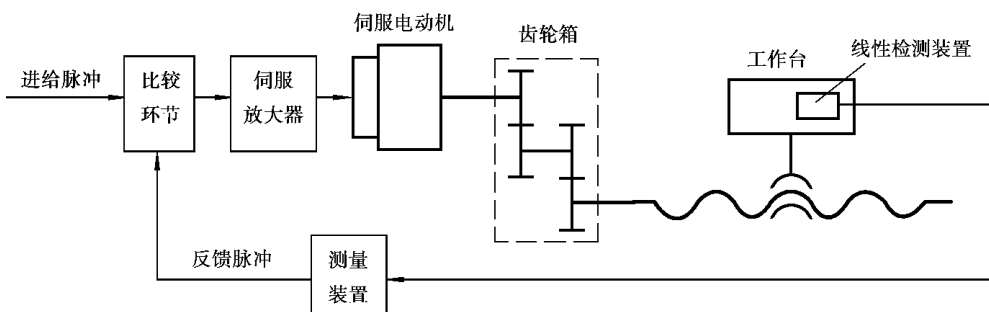


图 1.8 闭环控制系统

1.2 数控加工概述

1.2.1 数控加工的特点

与普通机床相比,数控机床加工具有如下特点:

1) 适合于复杂零件的加工

数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件的加工,因此在宇航、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

2) 加工精度高,加工稳定可靠

数控机床的传动装置与床身结构具有很高的刚度和热稳定性,而且在传动机构中采取了减小误差的措施,并由控制系统进行补偿,所以数控机床本身的定位精度和重复定位精度都很高,因而具有较高的加工精度;另外,数控机床实现计算机控制,排除人为误差,零件的加工一致性好,质量稳定可靠。

3) 高柔性

加工对象改变时,一般只需要更改数控程序,体现出很好的适应性,可大大节省生产准备时间。在数控机床的基础上,可以组成具有更高柔性的自动化制造系统(FMS)。

4) 生产效率高

数控机床本身精度高、刚性大,常常采用大进给量高速强力切削,自动化程度高,装夹定位和过程检验少,因而提高了生产率,一般为普通机床的3~5倍,对某些复杂零件的加工,生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。

5) 自动化程度高,劳动条件好

数控机床的加工过程是按输入程序自动完成的,一般情况下,操作者只要做装卸工件、更换刀具、关键工序的中间检测以及观察机床运行等工作,操作人员劳动强度大大降低,工作环境较好。

6) 生产准备工作复杂

由于整个加工过程采用程序控制,数控加工的前期准备工作较为复杂,包含工艺确定、程序编制等。

7) 有利于实现现代化管理

采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造了条件。

1.2.2 数控加工的适应范围

由于数控机床具有上述特点,适用于数控加工的零件有:

- 1) 批量小而又多次重复生产的零件;
- 2) 几何形状复杂、精度要求较高,在普通机床上无法加工或难以加工的零件;
- 3) 贵重零件加工;
- 4) 试制件;
- 5) 需要最小生产周期的零件。

对以上零件采用数控加工,才能最大限度地发挥出数控加工的优势。

1.2.3 数控加工技术的发展

目前,世界先进制造技术不断兴起,超高速切削、超精密加工等技术的应用,柔性制造系统的迅速发展和计算机集成系统的不断成熟,对数控加工技术提出了更高的要求。当今数控机床正在朝着以下几个方面发展。

1) 高速度、高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要指标,它直接关系到加工效率和产品质量。机床向高速化方向发展,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。

2) 多功能化

配有自动换刀机构(刀库容量可达100把以上)的各类加工中心,能在同一台机床上同时实现铣削、镗削、钻削、车削、铰孔、扩孔、攻螺纹等多种工序加工,现代数控机床还采用了多主轴、多面体切削,即同时对一个零件的不同部位进行不同方式的切削加工。数控系统由于采用了多CPU结构和分级中断控制方式,即可在一台机床上同时进行零件加工和程序编制,实现所谓的“前台加工,后台编辑”。为了适应柔性制造系统和计算机集成系统的要求,数控系统具有远距离串行接口,甚至可以联网,实现数控机床之间的数据通信,也可以直接对多台数控机床进行控制。

3) 智能化

智能化是21世纪制造技术发展的一个大方向。现代数控机床将引进自适应控制技术,根据切削条件的变化,自动调节工作参数,使加工过程中能保持最佳工作状态,从而得到较高的加工精度和较小的表面粗糙度,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。具有自诊断、自修复功能,以确保无人化工作环境的要求。为实现更高的故障诊断要求,其发展趋势是采用人工智能专家诊断系统。

4) 数控编程自动化

随着计算机应用技术的发展,目前CAD/CAM图形交互式自动编程已得到广泛的应用,是数控技术发展的新趋势。

5) 可靠性最大化

数控机床的可靠性一直是用户最关心的主要指标。随着数控机床网络化应用的发展,数控机床的高可靠性已经成为数控系统制造商和数控机床制造商追求的目标。

6) 控制系统小型化

数控系统小型化便于将机、电装置结合为一体。目前主要采用超大规模集成元件、多层印刷电路板,采用三维安装方法,使电子元器件得以高密度安装,较大规模缩小系统的占有空间。而利用新型的彩色液晶薄型显示器替代传统的阴极射线管,将使数控操作系统进一步小型化。这样可以方便地将它安装在机床设备上,更便于对数控机床的操作使用。

1.2.4 数控加工的人才需求

在加入世贸组织后,中国正在逐步变成世界制造中心,机械制造企业为了增强竞争力已开始广泛使用先进的数控技术。党的十六大也明确提出走新型工业化道路,坚持以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,大力振兴装备制造业。根据数控人才市场需求的调研情况,数控加工行业有着广阔的发展前景,人才的需求量很大。

与数控加工有关的职业岗位主要有:数控机床操作、数控加工工艺设计及编程、数控机床管理与维修、数控加工生产组织管理、数控设备营销及技术服务。

在以上工作岗位中,社会尤其需要数控机床操作、数控加工工艺设计及编程、数控机床维修及改造等技能型人才。

1.3 数控编程基础

1.3.1 数控编程的基本概念

(1) 程序编制的内容及步骤

编制数控加工程序是使用数控机床的一项重要技术工作。理想的数控程序不仅应该保证加工出符合零件图样要求的合格零件,还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥,使数控机床能安全、可靠、高效的工作。数控编程是指从零件图纸到获得数控加工程序的全部工作过程。如图 1.9 所示,编程工作主要包括:

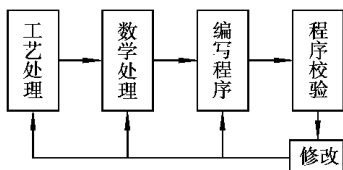


图 1.9 数控程序编制的内容及步骤

1) 工艺分析

这项工作的内容包括: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;选择或设计刀具和夹具;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

根据零件的几何尺寸、加工路线等,计算刀具中心运动轨迹,以获得刀位数据。

数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补功能,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交点或切点的坐标值,得出各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标值等,就能满足编程要求。当零件的几何形状比较复杂,并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,大都需要使用计算机来完成数值计算工作。

3) 编写零件加工程序

根据计算出的刀具运动轨迹坐标值和已确定的切削用量以及辅助动作,使用数控系统的程序指令,按照规定的程序格式,逐段编写加工程序。程序编制人员应对数控机床的功能、程序指令及代码十分熟悉,才能编写出正确的加工程序。

4) 程序检验

将编写好的加工程序输入数控系统,就可控制数控机床加工。一般在正式加工之前,要对程序进行检验。通常可采用机床空运转的方式,来检查机床动作和运动轨迹的正确性,以检验程序;在具有图形模拟显示功能的数控机床上,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;也可以利用仿真软件来检查程序是否正确。

上述这些方法只能检验刀具的运动轨迹正确与否,不能检查加工精度。对于形状复杂和要求高的零件,采用铝件、塑料或石蜡等易切材料进行试切来检验程序。通过检查试件,不仅可确认程序是否正确,还可知道加工精度是否符合要求。若能采用与被加工零件材料相同的材料进行试切,则更能反映实际加工效果,当发现加工的零件不符合加工技术要求时,可修改程序或采取尺寸补偿等措施。

(2) 数控程序编制的方法

数控加工程序的编制方法主要有两种:手工编制程序和自动编制程序。

1) 手工编程

手工编程指编制零件数控加工程序的各个步骤,即从零件图样分析、工艺处理、确定加工路线和工艺参数、几何计算、编写零件的数控加工程序单直至程序的检验,均由人工来完成,如图 1.10 所示。

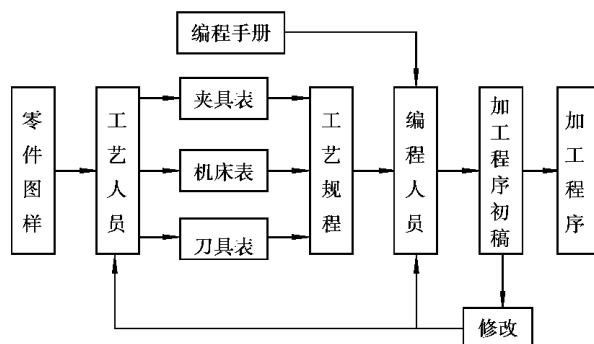


图 1.10 手工编程

对于几何形状不太复杂的零件,所需的加工程序不长,计算比较简单,用手工编程比较合适。手工编程的缺点:耗费时间较长,容易出现错误,无法胜任复杂形状零件的编程。

2) 计算机自动编程

自动编程是指由计算机完成程序编制中的大部分或全部工作的编程方法。

采用计算机自动编程时,数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的,由于计算机可自动绘制出刀具中心运动轨迹,使编程人员能及时检查程序是否正确,需要时可及时修改,以获得正确的程序。又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,可提高编程效率几十倍乃至上百倍,因此解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。因而,自动编程的特点就在于编程工作效率高,可解决复杂形状零件的编程难题。

(3) 程序格式

1) 加工程序的一般格式

数控加工程序一般包括程序开始符、程序名、程序主体、程序结束指令和结束符等几个部分。

例如:

%	开始符
O2000;	程序名
N10 G00 G54 X40 Y30 M03 S2000;	} 程序主体
N20 G01 X80.1 Y50.2 F600 T02 M08;	
N30 X100;	
.....	
N400 M02;	程序结束指令
%	结束符

程序开始符、结束符是同一个字符,ISO 代码中是%,EIA 代码中是 EP,书写时要单列一段。

程序名有两种形式:一种是英文字母 O 和 1~4 位正整数组成;另一种是由英文字母开

头,字母数字混合组成的。一般要求单列一段。

程序主体是由若干个程序段组成的。每个程序段一般占一行。

程序结束指令可以用 M02 或 M30。一般要求单列一段。

2) 程序段格式

程序段是数控加工程序中的一条语句,用来指令机床执行某一个动作或一组动作。一个数控加工程序由若干个程序段组成的,而每个程序段又包括若干个程序字。

程序字简称字,是由一个英文字母与随后的若干位十进制数字组成,这个英文字母称为地址符。

如:“S2000”是一个字,S 为地址符,数字“2000”为地址中的内容。

组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义,根据功能的不同,程序字可分为顺序号字、准备功能字、辅助功能字、尺寸字、进给功能字、主轴转速功能字和刀具功能字。

程序段格式是指程序段中的字、字符和数据的安排形式。现在一般使用字地址可变程序段格式,每个字长不固定,各个程序段中的长度和功能字的个数都是可变的,在上一程序段中写明的、本程序段里又不变化的那些字仍然有效,可以不再重写。这种功能字称之为续效字。字地址可变程序段格式中,程序字的排列顺序不严格,但为了书写和阅读的方便,习惯上按一定的顺序排列:N,G,X,Y,Z,F,S,T,D,M。

程序段格式举例:

N20 G01 X80.1 Y50.2 F600 S2000 T02 M08;

N40 X90;(本程序段省略了续效字“G01,Y50.2,F600,S2000,T02,M08”,但他们的功能仍然有效)

在程序段中,必须明确组成程序段的各要素:

移动目标:终点坐标值 X,Y,Z;

沿怎样的轨迹移动:准备功能字 G;

进给速度:进给功能字 F;

切削速度:主轴转速功能字 S;

使用刀具:刀具功能字 T;

机床辅助动作:辅助功能字 M。

(4) 常用程序字

组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义,以下是以 FANUC-0i 数控系统的规范为主来介绍,在实际工作中,应参照机床数控系统说明书正确使用各个功能字。

1) 顺序号字

顺序号又称程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首,由顺序号字 N 和后续数字组成。顺序号字 N 是地址符,后续数字一般为 1~4 位的正整数。数控加工中的顺序号实际上是程序段的名称,与程序执行的先后次序无关。数控系统不是按顺序号的次序来执行程序,而是按照程序段编写时的排列顺序逐段执行。

顺序号的作用:对程序的校对和检索修改;作为条件转向的目标,即作为转向目的程序段的名称。有顺序号的程序段可以进行复归操作,这是指加工可以从程序的中间开始,或回到程序中中断处开始。

一般使用方法:编程时将第一程序段冠以 N10,以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号,这

样,在调试程序时,如果需要在 N10 和 N20 之间插入程序段时,就可以使用 N11,N12 等。

2) 准备功能字

准备功能字的地址符是 G,又称为 G 功能或 G 指令,是用于建立机床或控制系统工作方式的一种指令。后续数字一般为 1~3 位正整数,表 1.1 列出了 FANUC 系统和 SIEMENS 系统常用 G 功能代码。

表 1.1 G 功能字含义表

功能字	FANUC 系统	SIEMENS 系统	功能字	FANUC 系统	SIEMENS 系统
G00	快速移动	快速移动	G65	用户宏指令	...
G01	直线插补	直线插补	G70	精加工循环	英制
G02	顺时针圆弧插补	顺时针圆弧插补	G71	外圆粗切循环	米制
G03	逆时针圆弧插补	逆时针圆弧插补	G72	端面粗切循环	...
G04	暂停时间	暂停时间	G73	封闭切削循环	...
G05	...	中间点圆弧插补	G74	深孔钻循环	...
G17	XY 平面选择	XY 平面选择	G75	外径切槽循环	...
G18	ZX 平面选择	ZX 平面选择	G76	复合螺纹切削循环	...
G19	YZ 平面选择	YZ 平面选择	G80	撤销固定循环	撤销固定循环
G32	螺纹切削	...	G81	定点钻孔循环	固定循环
G33	...	恒螺距螺纹切削	G90	绝对值编程	绝对尺寸
G40	刀具半径补偿注销	刀具半径补偿注销	G91	增量值编程	增量尺寸
G41	刀具半径左补偿	刀具半径左补偿	G92	螺纹切削循环	主轴转速极限
G42	刀具半径右补偿	刀具半径右补偿	G94	每分钟进给量	直线进给率
G43	刀具长度正补偿	...	G95	每转进给量	旋转进给率
G44	刀具长度负补偿	...	G96	恒线速控制	恒线速度
G49	刀具长度补偿注销	...	G97	恒线速取消	注销 G96
G50	主轴最高转速限制	...	G98	返回起始平面	...
G54~G59	加工坐标系设定	可设定零点偏置	G99	返回 R 平面	...

3) 尺寸字

尺寸字用于确定机床上刀具运动终点的坐标位置。

其中,第一组 X,Y,Z,U,V,W,P,Q,R 用于确定终点的直线坐标尺寸;第二组 A,B,C,D,E 用于确定终点的角度坐标尺寸;第三组 I,J,K 用于确定圆弧轮廓的圆心坐标尺寸。在一些数控系统中,还可以用 P 指令暂停时间、用 R 指令圆弧的半径等。

多数数控系统可以用准备功能字来选择坐标尺寸的制式,如 FANUC 系统可用 G21/G22 来选择米制单位或英制单位,也有些系统用系统参数来设定尺寸制式。采用米制时,一般单位为 mm,如 X100 指令的坐标单位为 100mm。