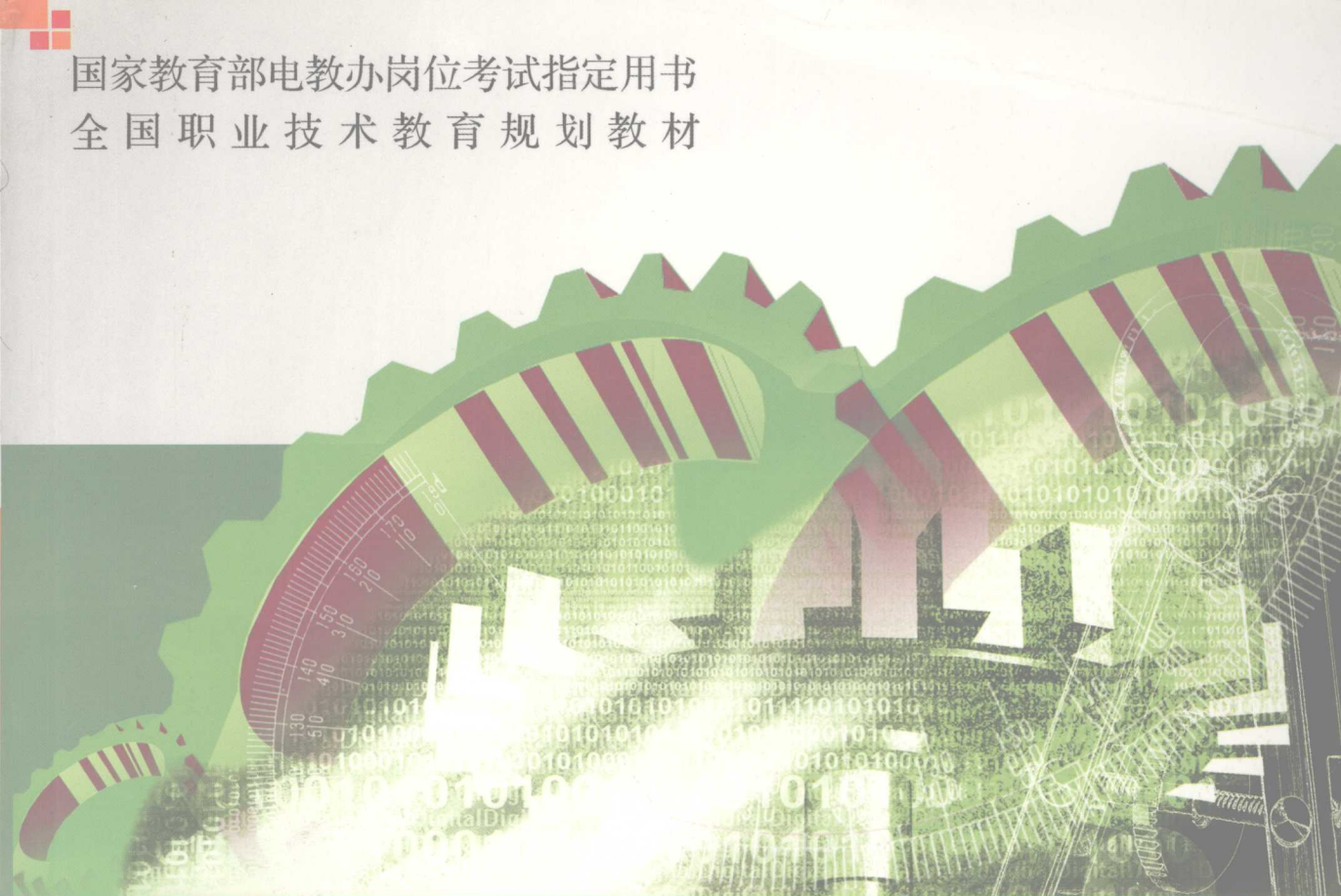


国家教育部电教办岗位考试指定用书
全国职业技术教育规划教材



数控机床加工工艺与编程基础

主 编：赵堂春

副主编：田宏宇 叶如燕

参 编：王 凯 朱清松

上海交通大学出版社

国家教育部电教办岗位考试指定用书
全国职业技术教育规划教材

内

数控机床加工工艺与编程基础

主 编 赵堂春

副主编 田宏宇 叶如燕

参 编 王 凯 朱清松

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书详细介绍了数控加工的切削基础、数控加工工艺基础、数控车床和车削加工工艺及编程、数控铣床与加工中心加工工艺及编程、数控线切割加工工艺与编程等内容。

本书结构合理、图文并茂、针对性强,注重实际应用,有机地将数控加工必备的工艺知识与数控编程方法结合起来,反映了现代制造技术的新成就和新动向。

本书可作为中等职业技术教育“数控技术应用”、“机电一体化”、“模具设计与制造”等专业的教材,也可作为职工大学、函授大学、高等职业教育等学校的教材,并可供有关技术人员、数控机床操作人员学习、参考和培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床加工工艺与编程基础/赵堂春主编. —上海:上海交通大学出版社,2008

全国职业技术教育规划教材. 国家教育部电教办岗位考试

ISBN 978 - 7 - 313 - 05054 - 0

I. 数… II. 赵… III. ①数控机床—加工—职业教育—教材②数控机床—程序设计—职业教育—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 187382 号

数控机床加工工艺与编程基础

赵堂春 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

合肥学苑印务公司印刷 全国新华书店经销

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:14.25 字数:340 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印数:1 ~ 6050

ISBN 978 - 7 - 313 - 05054 - 0/TG · 061 定价:19.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

近年来,随着计算机技术的发展,数字控制技术已经广泛应用于工业控制的各个领域,尤其是机械制造业中。普通机床正逐渐被高效率、高精度、高自动化的数控机床所代替。随着我国机械制造行业新技术的应用,我国世界制造业加工中心地位的逐步形成,掌握数控加工技术的复合型人才在全国各工业城市越来越紧缺。

数控加工工艺是数控编程与操作的基础,合理的工艺是保证数控加工质量、发挥数控机床效能的前提条件。本书根据实际岗位对人才的知识结构和能力结构的需要,突破传统的学科界限,将传统的数控编程和数控加工工艺有机结合,具有很强的实用性。本书内容体系符合职业教育的教学规律,既有基本的理论知识,又收录大量的实例,并配有相对应的思考题。

全书共分7章,全面介绍了数控加工技术、数控加工的切削基础、数控加工工艺基础、数控车床和车削加工工艺及编程、数控铣床与加工中心加工工艺及编程、数控线切割加工工艺与编程等内容。

本书由赵堂春任主编,田宏宇、叶如燕任副主编。其中第1章和第6章6.1节由叶如燕编写;第2章由田宏宇编写;第3章由赵堂春编写;第4章由朱清松编写;第5章和第6章6.2节由王凯编写。

由于编者水平和经验有限,加上编写较为匆忙,本书不妥或错误之处,敬请批评指正。

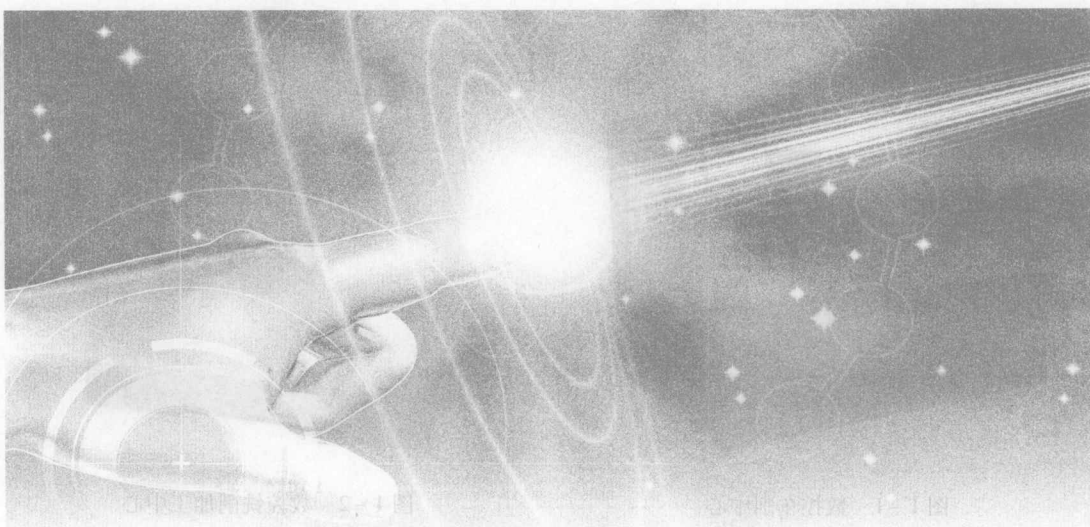
编 者

2008年1月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 数控机床的产生与发展过程	(1)
1.2 数控机床的构成与工作原理	(3)
1.3 数控机床加工过程的控制与特点	(4)
1.4 数控机床编程基础	(6)
思考与练习	(10)
第2章 数控加工的切削基础	(11)
2.1 切削运动与切削要素	(11)
2.2 金属切削刀具	(15)
2.3 金属切削过程	(18)
2.4 金属材料的切削加工性	(24)
2.5 切削用量及切削液的选择	(26)
思考与练习	(30)
第3章 数控加工工艺基础	(31)
3.1 机械加工工艺过程的基本概念	(31)
3.2 数控加工概述	(37)
3.3 数控加工工艺分析	(42)
3.4 数控机床加工工艺路线的设计	(46)
3.5 数控加工工序设计	(54)
思考与练习	(70)
第4章 数控车床和车削加工工艺及编程	(72)
4.1 数控车床简介	(72)
4.2 数控车床加工工艺分析	(76)
4.3 数控车床加工工艺路线的拟订	(80)
4.4 典型零件的数控车削加工工艺分析	(84)
4.5 数控车床编程方法及实例	(92)
4.6 数控车床的加工操作	(108)
思考与练习	(114)
第5章 数控铣床与加工中心加工工艺及编程	(116)

5.1	数控铣削机床简介	(116)
5.2	数控铣削加工工艺分析	(123)
5.3	数控铣床加工工艺路线的拟订	(131)
5.4	典型零件的数控铣削加工工艺分析	(138)
15.5	数控铣床、加工中心编程方法及实例	(141)
15.6	数控铣削机床的加工操作	(167)
	思考与练习	(172)
第6章	数控线切割加工工艺与编程	(174)
6.1	数控线切割加工概述	(174)
6.2	数控线切割加工工艺	(175)
6.3	数控线切割机床的编程特点与常用指令	(187)
6.4	线切割编程实例	(190)
	思考与练习	(194)
第7章	数控机床加工工艺实例分析	(195)
7.1	大批量生产零件数控车削加工工艺	(195)
7.2	典型零件的数控铣削加工工艺分析	(203)
	思考与练习	(219)
参考文献	.....	(221)
(1E)	.....	3.1
(2E)	.....	3.3
(3E)	.....	3.3
(4E)	.....	3.4
(5E)	.....	3.3
(6E)	.....	3.3
(7E)	.....	3.3
(8E)	.....	3.3
(9E)	.....	3.3
(10E)	.....	3.3
(11E)	.....	3.3
(12E)	.....	3.3
(13E)	.....	3.3
(14E)	.....	3.3
(15E)	.....	3.3
(16E)	.....	3.3
(17E)	.....	3.3
(18E)	.....	3.3
(19E)	.....	3.3
(20E)	.....	3.3
(21E)	.....	3.3
(22E)	.....	3.3
(23E)	.....	3.3
(24E)	.....	3.3
(25E)	.....	3.3
(26E)	.....	3.3
(27E)	.....	3.3
(28E)	.....	3.3
(29E)	.....	3.3
(30E)	.....	3.3
(31E)	.....	3.3
(32E)	.....	3.3
(33E)	.....	3.3
(34E)	.....	3.3
(35E)	.....	3.3
(36E)	.....	3.3
(37E)	.....	3.3
(38E)	.....	3.3
(39E)	.....	3.3
(40E)	.....	3.3
(41E)	.....	3.3
(42E)	.....	3.3
(43E)	.....	3.3
(44E)	.....	3.3
(45E)	.....	3.3
(46E)	.....	3.3
(47E)	.....	3.3
(48E)	.....	3.3
(49E)	.....	3.3
(50E)	.....	3.3
(51E)	.....	3.3
(52E)	.....	3.3
(53E)	.....	3.3
(54E)	.....	3.3
(55E)	.....	3.3
(56E)	.....	3.3
(57E)	.....	3.3
(58E)	.....	3.3
(59E)	.....	3.3
(60E)	.....	3.3
(61E)	.....	3.3
(62E)	.....	3.3
(63E)	.....	3.3
(64E)	.....	3.3
(65E)	.....	3.3
(66E)	.....	3.3
(67E)	.....	3.3
(68E)	.....	3.3
(69E)	.....	3.3
(70E)	.....	3.3
(71E)	.....	3.3
(72E)	.....	3.3
(73E)	.....	3.3
(74E)	.....	3.3
(75E)	.....	3.3
(76E)	.....	3.3
(77E)	.....	3.3
(78E)	.....	3.3
(79E)	.....	3.3
(80E)	.....	3.3
(81E)	.....	3.3
(82E)	.....	3.3
(83E)	.....	3.3
(84E)	.....	3.3
(85E)	.....	3.3
(86E)	.....	3.3
(87E)	.....	3.3
(88E)	.....	3.3
(89E)	.....	3.3
(90E)	.....	3.3
(91E)	.....	3.3
(92E)	.....	3.3
(93E)	.....	3.3
(94E)	.....	3.3
(95E)	.....	3.3
(96E)	.....	3.3
(97E)	.....	3.3
(98E)	.....	3.3
(99E)	.....	3.3
(100E)	.....	3.3



第1章 绪 论



本章内容简介及学习要点

本章主要介绍数控与数控机床的相关概念,数控加工的工作原理、工作过程、加工内容及加工特点;熟悉数控机床的组成,掌握数控机床的分类;了解数控机床控制系统的组成、发展趋势,建立数控机床及数控加工的整体性认识。

1.1 数控机床的产生与发展过程

随着科学技术的发展,机电产品日趋精密复杂。产品的精度要求越来越高,更新换代的周期也越来越短,从而促进了现代制造业的发展。尤其是宇航、军工、造船、汽车和模具加工等行业,用普通机床进行加工(精度低、效率低、劳动度大)已无法满足生产要求,从而一种新型的用数字程序控制的机床(即数控机床)应运而生。

1.1.1 何谓数控机床

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是指采用数字形式信息控制的机床。详言之,凡是用数字化的代码将零件加工过程中所需的各种操作和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量等记录在程序介质上,送入计算机或数控系统,经过译码、运算及处理,控制机床的刀具与工件的相对运动,加工出所需要的工件的一类机床即为数控机床。图1-1是数控车削中心,图1-2是数控铣削加工中心。

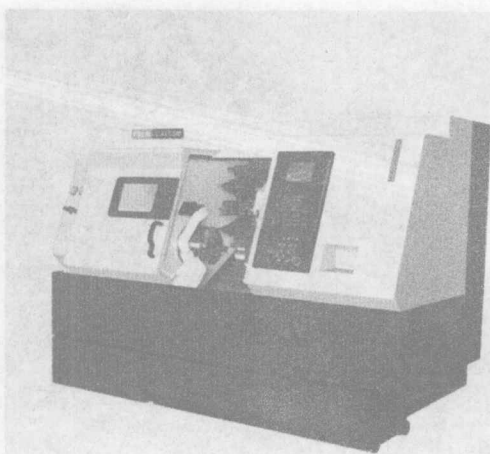


图 1-1 数控车削中心



图 1-2 数控铣削加工中心

1.1.2 数控机床发展趋势

数控机床是 20 世纪 50 年代发展起来的新型自动化机床,较好地解决了形状复杂、精密、小批量零件的加工问题,具有适应性强、加工精度和生产效率高的优点。由于数控机床综合了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等诸方面的先进技术,使得数控机床的发展日新月异,数控机床的功能越来越强。数控机床的发展趋势体现在数控功能、数控伺服系统、编程方法、数控机床的检测和监控功能、自动调整和控制技术等方面的发展。

1. 数控功能的扩展

- (1) 数控系统插补和联动轴数的增加,有的数控系统能同时控制几十根轴。
- (2) 数控系统中微处理器处理字长的增加,目前广泛采用 32 位微处理器。
- (3) 数控系统中实现人机对话,进行交互式图形编程。
- (4) 基于 PC 机的开放式数控系统的发展,使数控系统得到更多硬件和软件的支持。

2. 数控伺服系统的发展

- (1) 交流伺服系统替代直流伺服系统。
- (2) 前馈控制技术的发展增加了速度指令控制,使跟踪滞后误差减小。
- (3) 高速电主轴和程序段超前处理技术(LOOK AHEAD)使高速小线段加工得以实现。
- (4) 多种补偿技术的发展与应用,如机械静摩擦与动摩擦非线性补偿、机床精度误差的补偿和切削热膨胀误差的补偿。
- (5) 位置检测装置检测精度的提高。采用细分电路大大提高了检测装置的分辨率。

3. 编程方法的发展

- (1) 在线编程技术的发展,实现前台加工操作,后台同时编程。

(2) 面向车间编程方法(WOP)的发展,即输入加工对象的加工轨迹,数控系统自动生成加工程序。

(3) CAD/CAM 技术的发展,实现计算机辅助设计与辅助制造。

4. 数控机床的检测和监控功能的增强

数控机床在加工过程中对刀具和工件进行在线检测,发现工件超差、刀具磨损和破损时能及时反馈或报警处理。

5. 自动调整控制技术的应用

按加工要求,数控系统能动态调整工作参数,使加工过程始终达到最佳工作状态。综上所述,由于数控机床不断采纳科学技术发展中的各种新技术,使得其功能日趋完善,数控技术在机械加工中的地位也越来越重要,数控机床的广泛应用是现代制造业发展的必然趋势。

1.2 数控机床的构成与工作原理

前面介绍了数控机床的基本知识,为了更好地使用机床,还需要了解数控机床的构成与工作过程。

1.2.1 数控机床的构成

数控机床的基本结构如图 1-3 所示。

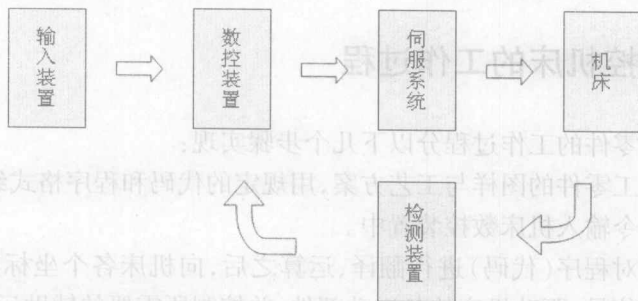


图 1-3 数控机床的组成

1. 输入装置

数控加工程序可通过键盘,用手工方式直接输入数控系统。还可由编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工;另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从存储器中逐段调出进行加工。



2. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出为各种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

3. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换为机床移动部件的运动,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹进行严格的相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件有功率步进电机、电液脉冲马达、直流伺服电机和交流伺服电机等。

4. 检测装置

检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到机床的数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按指令设定值运动。

5. 机床

数控机床中的机床在开始阶段使用通用机床,只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面作些改变。随着数控技术的发展,数控机床的设计采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施,使得数控机床的外部造型、整体布局、传动系统以及刀具系统等方面都已发生了很大的变化。

1.2.2 数控机床的工作过程

数控机床加工零件的工作过程分以下几个步骤实现:

- (1) 根据被加工零件的图样与工艺方案,用规定的代码和程序格式编写程序。
- (2) 将程序指令输入机床数控装置中。
- (3) 数控装置对程序(代码)进行翻译、运算之后,向机床各个坐标的伺服驱动机构和辅助控制装置发出信号,驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助运动。
- (4) 在机床上加工出合格的零件。

数控机床的加工过程如图 1-4 所示。

1.3 数控机床加工过程的控制与特点

数控机床加工精度高,就是因为其控制方式与普通机床不同。数控机床是通过数控系统发出数字信号控制伺服电机来完成加工的进给运动。



图 1-4 零件一般加工过程

1.3.1 数控机床加工过程的控制

数控机床通过数控编程把数字化了的刀具移动轨迹信息(通常指 CNC 加工程序)传入数控机床的数控装置,经过译码、运算,指挥执行机构(伺服电机通过滚珠丝杠带动主轴和工作台)控制刀具与工件相对运动,实现数控加工机床对加工过程的控制,从而加工出符合编程设计要求的零件。数控机床加工过程的控制如图 1-5 所示。

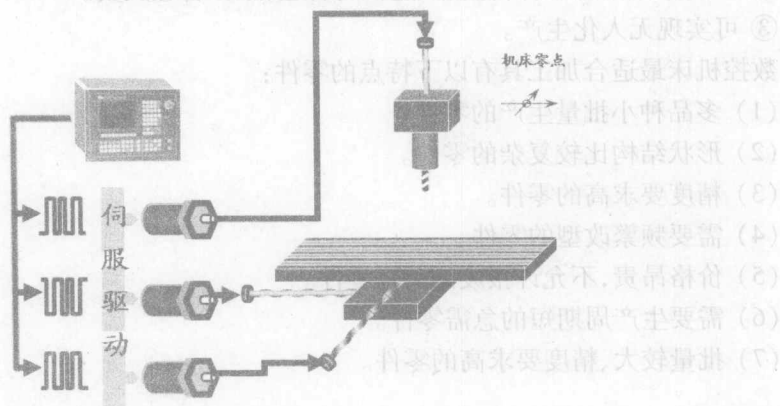


图 1-5 数控机床的加工过程控制

1.3.2 数控机床特点

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题,是一种灵活的、高效能的自动化机床,尤其对于约占机械加工总量 80% 的单件、小批量零件的加工,更显示出其特有的灵活性。

数控机床加工有以下特点:



1. 加工精度高

数控机床是精密机械和自动化技术的综合体。机床的数控装置可以对机床运动中产生的位移、热变形等导致的误差通过测量系统进行补偿,而获得很高且稳定的加工精度。由于数控机床实现自动加工,所以减少了操作人员素质带来的人为误差,提高了同批零件的一致性。

2. 生产率较高

就生产效率而言,相对于普通机床,数控机床的效率一般能提高2~3倍,甚至十几倍。高效率主要体现在以下几个方面:

(1) 一次装夹完成多工序加工,省去了普通机床加工的多次变换工种、工序间的转件以及划线等工序。

(2) 简化了夹具及专用工装等。由于是一次装夹完成加工,所以普通机床多工序的夹具省去了,即使偶尔必须用到专用夹具,由于数控机床的超强功能夹具的结构也可简化。

(3) 减轻劳动强度,数控机床的操作由体力型转为智力型。

(4) 改善劳动条件,如深扬公司的产品采用全封闭护罩,机床不会有水、油、铁屑溅出,可有效保持工作环境的清洁。

(5) 有利于生产管理:

① 程序化控制加工、更换品种方便。

② 一机多工序加工,简化生产过程的管理,减少管理人员。

③ 可实现无人化生产。

数控机床最适合加工具有以下特点的零件:

(1) 多品种小批量生产的零件。

(2) 形状结构比较复杂的零件。

(3) 精度要求高的零件。

(4) 需要频繁改型的零件。

(5) 价格昂贵,不允许报废的关键零件。

(6) 需要生产周期短的急需零件。

(7) 批量较大、精度要求高的零件。

1.4 数控机床编程基础

数控机床是一种高效的自动化加工设备,它严格按照加工程序,自动地对被加工工件进行加工。我们把从数控系统外部输入的直接用于加工的程序称为数控加工程序,简称为数控程序,它是机床数控系统的应用软件。



1.4.1 加工程序简介

加工程序使用数控装置能识别的指令代码和数字代码描述数控机床的工艺过程,国际上广泛使用 ISO 标准 G 指令和 M 指令,我国机械工业部制订的标准 JB3208-83 与国际 ISO 标准等效。

1. 程序段格式

程序段由程序序号、地址符、数字值和程序段结束符组成。

例如:

N__ G__ F__ T__ S__ M__ LF

其中,N——程序序号地址符。

G——准备功能地址符。

F——进给速度地址符。

T——刀具号地址符。

S——主轴转速地址符。

M——辅助功能地址符。

LF——程序段结束地址符。

2. 加工程序的组成

一个完整的加工程序由程序名、程序段和程序结束指令组成。其中程序名由符号(如%、O、P或其他符号)与后面的2~4位数字组成;程序结束指令一般为M02或M30。

例如:

%0001

N0010 G00 X0 Y0 Z2 T01 S2000 M03 LF

N0020 G01 Z-10 F200 LF

N0100 M30 LF

3. 编程方法

编程方法有手工编程与自动编程两种:

(1) 手工编程:直接在数控机床上进行编程的方法为手工编程,一般加工简单零件用这种方法编程。

(2) 自动编程:对于复杂的零件,其轮廓线不是在简单的平面上,而是由复杂的空间曲线和空间曲面组成,用手工编程方法编程很困难,则需要使用自动编程方法编程。即使用专用软件进行编程,过去用APT软件描述加工过程,现代自动编程是指通过CAD/CAM处理后自动生成NC程序的编程方法。



1.4.2 数控系统功指令代码

数控系统的指令代码分为两大类:准备功能代码和辅助功能代码。准备功能代码主要用于控制刀具对工件进行切削加工,准备功能 G 代码由地址字符 G 与后面的两位数字组成,如表 1-1 所示。我国的中、高档数控系统大部分从日本、德国和美国引进,如日本的 FANUC 系统、德国的 SIEMENS 系统和美国的 AB 系统。由于国内外数控系统实际使用的 G 功能指令标准化程度较低,只有 G01~G04、G17~G19、G40~G42 的指令定义在各个数控系统中基本相同,因此编程时必须遵照所用数控机床的使用说明书编写加工程序。

表 1-1 G 功能字含义表

G 功能字	FANUC 系统	SIEMENS 系统
G00	快速移动点定位	快速移动点定位
G01	直线插补	直线插补
G02	顺时针圆弧插补	顺时针圆弧插补
G03	逆时针圆弧插补	逆时针圆弧插补
G04	暂停	暂停
G05		通过中间点圆弧插补
G17	XY 平面选择	XY 平面选择
G18	ZX 平面选择	ZX 平面选择
G19	YZ 平面选择	YZ 平面选择
G32	螺纹切削	
G33		恒螺距螺纹切削
G40	刀具补偿注销	刀具补偿注销
G41	刀具补偿——左	刀具补偿——左
G42	刀具补偿——右	刀具补偿——右
G43	刀具长度补偿——正	
G44	刀具长度补偿——负	
G49	刀具长度补偿注销	
G50	主轴最高转速限制	
G54~G59	加工坐标系设定	零点偏置
G65	用户宏指令	
G70	精加工循环	
G71	外圆粗切循环	

(续表)

G72	端面粗切循环	
G73	封闭切削循环	
G74	深孔钻循环	
G75	外径切槽循环	
G76	复合螺纹切削循环	
G80	撤销固定循环	撤销固定循环
G81	定点钻孔循环	固定循环
G90	绝对值编程	绝对尺寸
G91	增量值编程	增量尺寸
G92	螺纹切削循环	主轴转速极限
G94	每分钟进给量	直线进给率
G95	每转进给量	旋转进给率
G96	恒线速控制	恒线速度
G97	恒线速取消	注销 G96
G98	返回起始平面	
G99	返回 R 平面	

辅助功能代码主要用于控制机床的辅助设备(如主轴、刀架和冷却泵的工作),由继电器的通电与断电来实现其控制过程。辅助功能 M 代码由地址字符 M 与后面两位数字组成,如表 1-2 所示。

表 1-2 辅助功能 M 代码表

M 指令	功 能	简 要 说 明
M00	程序停止	切断机床所有动作,按程序启动按钮后继续执行后面程序段
M01	任选停止	与 M00 功能相似,机床控制面板上“条件停止”开关接通时有效
M02	程序结束	主程序运行结束指令,切断机床所有动作
M03	主轴正转	从主轴前端向主轴尾端看时为逆时针
M04	主轴反转	从主轴前端向主轴尾端看时为顺时针
M05	主轴停止	执行完该指令后主轴停止转动
M06	刀具交换	表示按指定刀具换刀
M08	切削液开	执行该指令时,切削液自动打开
M09	切削液关	执行该指令时,切削液自动关闭
M30	程序结束	程序结束后自动返回到程序开始位置,机床及控制系统复位
M98	调用子程序	主程序可以调用两重子程序
M99	子程序返回	子程序结束并返回到主程序



(续表)

思考与练习

- (1) 数控机床由哪几部分组成?
- (2) 数控机床加工零件的工作过程一般分哪几个步骤?
- (3) 数控机床适合加工什么特点的零件?
- (4) 试解释下列符号的意义:

① G03; ② M05; ③ S40(二位数法); ④ F723(三位数法); ⑤ LF

十进制数	二进制数	000
十进制数	二进制数	001
二进制数	十进制数	002
二进制数	十进制数	004
二进制数	十进制数	008
二进制数	十进制数	016
二进制数	十进制数	032
二进制数	十进制数	064
二进制数	十进制数	128
二进制数	十进制数	256

由表可知, (1) 数控机床由床身、主轴箱、进给系统、冷却系统、润滑系统、排屑装置、防护装置、电气控制系统等组成。(2) 数控机床加工零件的工作过程一般分以下几个步骤: ① 装夹工件; ② 对刀; ③ 输入加工程序; ④ 启动机床; ⑤ 加工; ⑥ 停止; ⑦ 卸下工件; ⑧ 检查工件; ⑨ 清理机床; ⑩ 关机。 (3) 数控机床适合加工形状复杂、精度要求高、批量小、单件生产的零件。 (4) G03 为逆时针圆弧插补指令; M05 为停止指令; S40 为设定主轴转速 40 r/min; F723 为设定进给速度 723 mm/min; LF 为换行符。

表 1-1 M 指令功能

指令	功能	M 指令
M00	程序暂停	M00
M01	计划暂停	M01
M02	程序结束	M02
M03	主轴正转	M03
M04	主轴反转	M04
M05	主轴停止	M05
M06	换刀指令	M06
M08	冷却液开	M08
M09	冷却液关	M09
M10	夹紧装置	M10
M11	松开装置	M11
M12	主轴定向	M12
M13	主轴定向	M13
M14	主轴定向	M14



第2章 数控加工的切削基础



本章内容简介及学习要点

本章主要研究数控加工刀具的切削原理。介绍了切削运动、切削力和切削要素的基本理论；常用的刀具材料类型、性能及其应用范围；刀具的切削过程；材料加工性及其影响因素和改善材料加工性的途径；切削用量的选用原则和切削液的种类、作用和选用。

2.1 切削运动与切削要素

金属切削加工就是用金属切削刀具把工件毛坯上预留的金属材料(余量)切除,以获得所要求的零件的过程。金属切削加工虽有多种不同的形式,但它们在很多方面(如切削运动、切削工具以及切削过程的物理实质等)都有着共同的现象和规律。

2.1.1 切削运动

在切削过程中,刀具和工件之间必须有相对运动,这种相对运动就称为切削运动。按切削运动在切削加工中的功用不同分为主运动和进给运动。

1. 主运动

主运动是由机床提供的主要运动,它使刀具和工件之间产生相对运动,从而使刀具前刀