



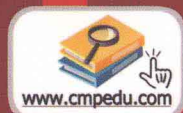
高等职业教育机电类规划教材

数控加工工艺 编程与操作

丑幸荣 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠 电子 课件
教师 免费下载



高等职业教育机电类规划教材

数控加工工艺编程与操作

主 编 丑幸荣

参 编 叶爱娟 程成 陈树晓 陈刚



机械工业出版社

本书根据机械制造业数控加工技术岗位的相关知识和能力需求,对数控加工工艺—数控编程—数控加工操作教学模块实施系统化串联。以目前应用最为广泛的数控系统之一的 FANUC 数控系统为基础,设置了数控车削、数控铣削(加工中心)加工的工艺分析、数控编程与加工操作项目共十三个。通过项目学习和训练,读者能够掌握数控加工工艺设计、数控程序编制和数控机床加工操作的知识和基本技能。

本书配有电子课件,凡使用本书作教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网(<http://www.cmpedu.com>)下载,或发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话:010-88379375。

本书可作为高等职业院校数控技术专业及其他相近专业的教学用书或技能培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺编程与操作/丑幸荣主编. —北京:
机械工业出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-111-42086-6

I. ①数… II. ①丑… III. ①数控机床—加工 ②数控
机床—程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 070652 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王英杰 责任编辑:王英杰 武 晋

版式设计:霍永明 责任校对:肖 琳

封面设计:鞠 杨 责任印制:乔 宇

北京汇林印务有限公司印刷

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·465 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42086-6

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社 服 务 中 心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

目前,数控技术的应用已经得到我国各级政府和企业家的高度重视,数控加工技术已经成为机械加工标志性技术并逐渐得到普及,而数控加工高技能人才却是国家紧缺人才,社会需求巨大。

数控加工工艺、数控编程与数控加工操作是高等职业院校培养数控加工技术人才的三门核心课程。这三门课程理论知识与实践技能高度结合,直接面向高职数控专业学生的就业岗位。通过这三门课程的学习,使学生具备从事数控加工所必需的工艺分析、数据处理、编程、机床操作及工件加工等基本知识 with 技能。

本书解构高职数控专业原数控加工技术核心课程的理论与实践脱节、知识模块相互独立的传统知识体系,把职业岗位能力的培养融入到与就业岗位紧密相关且相互紧密关联的数控加工工艺、数控编程、数控加工操作的核心课程中;对该三门核心课程的内容和实训环节进行重构,实施数控加工工艺—数控编程—数控加工操作教学模块的系统化串联,并创新其教学模式。

本书推崇的教学模式是以机械制造业的典型零部件的数控加工过程为导向,实施项目化教学。在项目化教学过程中,以能力培养为主线,以能力训练为轴心,充分发挥学生学习的主动性,将理论知识和操作技能渗透到一系列的项目教学和实训中。使学生牢固掌握职业技能,熟悉企业的工作过程和工作环境,为学生就业打下坚实的基础。

本书根据岗位需求的相关知识和能力,采用目前应用最为广泛的数控系统之一的 FANUC 数控系统,设置了数控车削、数控铣削(加工中心)加工的工艺分析、数控编程与加工操作项目共十三个。每一项目包含以下四部分内容:

- ①项目导入。导入来自生产实际的项目。
- ②知识学习。学习与导入的项目相关的知识。
- ③项目实施。实施导入的项目。
- ④项目实训。作为大作业,在教师指导下独立完成一个项目。

通过由简单到复杂,由唯一到综合,由工艺设计、程序编制到机床加工操作的项目学习和训练,学生能够掌握相应的知识和技能,达到中级数控车削或数控铣削(加工中心)操作工的技能水平。

本书由杭州万向职业技术学院丑幸荣担任主编,负责全书的统稿和定稿工作,并编写概述、项目一、项目三、项目四、项目六、项目七、项目八、项目九;杭州美巴赫精密机械有限公司陈树晓编写项目二;嘉兴职业技术学院陈刚编写项目五;杭州万向职业技术学院叶爱娟编写项目十、项目十一;杭州万向职业技术学院程成编写项目十二、项目十三。

本书可作为高等职业院校数控技术专业及其他相近专业的教学用书或技能培训用书。

由于编者水平有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

目 录

前言

概述	1
一、数控机床及其分类	1
二、数控机床的主要性能指标与功能	3
三、数控编程的内容与方法	5
四、数控机床坐标系	6
五、数控程序的结构与格式	11
习题	14

模块一 数控车削加工工艺、 编程与操作

项目一 数控车削加工工艺分析	16
1.1 项目导入	16
1.2 知识学习	17
1.2.1 数控车床的类型和主要 加工对象	17
1.2.2 零件图工艺性分析	18
1.2.3 数控车削工艺路线的拟订	19
1.2.4 零件的定位与装夹	21
1.2.5 数控车削加工刀具及其选用	23
1.2.6 数控车削加工的切削用量选择	29
1.2.7 数控加工的工艺文件编制	32
1.3 项目实施	34
1.3.1 零件图工艺分析	34
1.3.2 确定零件的装夹和定位方式	34
1.3.3 确定加工顺序及进给路线	35
1.3.4 刀具的选择	35
1.3.5 切削用量的选择	36
1.3.6 数控加工工艺文件编制	36
1.4 项目实训	37
1.4.1 实训任务	37
1.4.2 实训指导	38
习题	39
项目二 数控车床操作	41
2.1 项目导入	41
2.2 知识学习	42
2.2.1 数控车床操作面板	42

2.2.2 数控车床操作基础	45
2.3 项目实施	47
2.3.1 数控车削仿真加工基本操作	47
2.3.2 对刀及其参数输入	50
2.3.3 数控程序的编辑	52
2.3.4 试运行与自动加工	53
2.4 项目实训	54
2.4.1 实训任务	54
2.4.2 实训指导	55
习题	56
项目三 阶梯轴加工	58
3.1 项目导入	58
3.2 知识学习	59
3.2.1 阶梯轴加工工艺特点	59
3.2.2 数控系统功能指令	61
3.2.3 轴类零件加工的基本编程指令	65
3.3 项目实施	69
3.3.1 工艺分析	69
3.3.2 编制加工程序	71
3.3.3 仿真加工	72
3.4 项目实训	73
3.4.1 实训任务	73
3.4.2 实训指导	74
习题	75
项目四 螺纹轴加工	77
4.1 项目导入	77
4.2 知识学习	77
4.2.1 螺纹轴加工工艺	78
4.2.2 螺纹加工指令	81
4.2.3 复合循环指令 G71 和 G70	85
4.3 项目实施	87
4.3.1 工艺分析	87
4.3.2 编制加工程序	90
4.4 项目实训	91
4.4.1 实训任务	91
4.4.2 实训指导	93
习题	94

项目五 圆弧面零件加工	96
5.1 项目导入	96
5.2 知识学习	96
5.2.1 圆弧面零件加工工艺	96
5.2.2 圆弧插补指令 (G02/G03)	97
5.2.3 刀尖圆弧半径补偿	99
5.2.4 固定形状粗加工复合 循环指令 (G73)	102
5.3 项目实施	105
5.3.1 工艺分析	105
5.3.2 编制加工程序	107
5.4 项目实训	108
5.4.1 实训任务	108
5.4.2 实训指导	110
习题	111
项目六 盘套类零件加工	113
6.1 项目导入	113
6.2 知识学习	114
6.2.1 盘套类零件加工工艺	114
6.2.2 盘套类零件加工循环指令	117
6.3 套筒类零件加工项目实施	121
6.3.1 工艺分析	121
6.3.2 编制加工程序	123
6.4 盘类零件加工项目实施	125
6.4.1 工艺分析	125
6.4.2 编制加工程序	128
6.5 项目实训	130
6.5.1 实训任务	130
6.5.2 实训指导	132
习题	133
项目七 非圆弧曲面零件加工	135
7.1 项目导入	135
7.2 知识学习	135
7.2.1 用户宏程序	136
7.2.2 车削非圆弧曲面编程	142
7.3 项目实施	145
7.3.1 工艺分析	145
7.3.2 编制加工程序	147
7.4 项目实训	149
7.4.1 实训任务	149
7.4.2 实训指导	151
习题	152

模块二 数控铣削加工工艺、 编程与操作

项目八 数控铣削加工工艺分析	154
8.1 项目导入	154
8.2 知识学习	155
8.2.1 数控铣床/加工中心的类型和 加工对象	155
8.2.2 零件图工艺性分析	158
8.2.3 数控铣削工艺路线的拟订	162
8.2.4 零件的定位与装夹	168
8.2.5 数控铣削加工刀具及其选用	169
8.2.6 数控铣削加工切削用量的 选择	173
8.2.7 镗铣类数控工具系统	175
8.3 项目实施	179
8.3.1 零件图工艺分析	179
8.3.2 选择加工设备	179
8.3.3 确定加工顺序	179
8.3.4 确定零件的定位基准和 装夹方式	179
8.3.5 确定加工进给路线	180
8.3.6 刀具选择	180
8.3.7 切削用量选择	181
8.3.8 填写数控加工工序卡	181
8.4 项目实训	182
8.4.1 实训任务	182
8.4.2 实训指导	183
习题	183
项目九 数控铣床 (加工中心) 操作	186
9.1 项目导入	186
9.2 知识学习	187
9.2.1 数控铣床操作面板	187
9.2.2 数控铣床 (加工中心) 操作基础	189
9.2.3 数控铣床 (加工中心) 对刀 及其参数输入	191
9.3 项目实施	197
9.3.1 数控铣床仿真系统基本操作	197
9.3.2 对刀及其参数输入	198
9.3.3 数控程序的编辑	199
9.3.4 程序调试与自动加工	200

9.4 项目实训	201	11.4.2 实训指导	245
9.4.1 实训任务	201	习题	245
9.4.2 实训指导	203	项目十二 孔系零件加工	248
习题	204	12.1 项目导入	248
项目十 平面凸轮廓类零件的加工	205	12.2 知识学习	249
10.1 项目导入	205	12.2.1 孔加工工艺	249
10.2 知识学习	206	12.2.2 孔加工固定循环指令概述	256
10.2.1 平面铣削加工工艺	206	12.2.3 孔加工固定循环指令格式 及应用	258
10.2.2 数控铣削系统功能指令	206	12.3 项目实施	266
10.2.3 数控铣削基本编程指令	209	12.3.1 加工工艺分析	266
10.2.4 刀具补偿指令	217	12.3.2 编制加工程序	270
10.3 项目实施	221	12.4 项目实训	273
10.3.1 工艺分析	221	12.4.1 实训任务	273
10.3.2 编制加工程序	222	12.4.2 实训指导	275
10.3.3 仿真加工	223	习题	275
10.4 项目实训	224	项目十三 非圆曲线轮廓和曲面 零件加工	278
10.4.1 实训任务	224	13.1 项目导入	278
10.4.2 实训指导	225	13.2 宏程序的应用	279
习题	226	13.2.1 非圆曲线轮廓宏程序编程	279
项目十一 型腔类零件的加工	228	13.2.2 曲面加工宏程序编程	281
11.1 项目导入	228	13.3 项目实施	284
11.2 知识学习	229	13.3.1 工艺分析	284
11.2.1 型腔铣削工艺	229	13.3.2 编制加工程序	286
11.2.2 数控系统的相关功能指令	232	13.4 项目实训	289
11.3 项目实施	238	13.4.1 实训任务	289
11.3.1 凹模型腔零件的工艺 设计与编程	238	13.4.2 实训指导	291
11.3.2 偏心圆弧槽零件的工艺 设计与编程	241	习题	291
11.4 项目实训	243	参考文献	294
11.4.1 实训任务	243		

概 述

一、数控机床及其分类

数字控制机床 (Numerical Control Machine Tools) 简称数控机床, 是一种将数字计算技术应用于机床的数控设备。它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示, 通过信息载体输入数控装置, 经运算处理由数控装置发出各种控制信号, 控制机床的动作, 按图样要求的形状和尺寸自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题, 是一种柔性的、高效能的自动化机床, 代表了现代机床控制技术的发展方向。

数控机床按照不同的划分方式分为以下类型。

1. 按数控机床加工方式和工艺用途分类

(1) 普通数控机床 普通数控机床一般指在加工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、数控磨床及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由人工完成。

(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, 它将数控铣床、数控镗床及数控钻床的功能组合在一起, 零件在一次装夹后, 可以将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因多次安装造成的定位误差, 所以它适用于更换频繁、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加工。

2. 按数控机床运动方式分类

(1) 点位控制数控机床 如图 0-1a 所示, 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要控制。采用这类控制的有数控钻床、数控镗床和数控坐标镗床等。

(2) 点位直线控制数控机床 如图 0-1b 所示, 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进行直线切削。采用这类控制的有数控铣床、数控车床和数控磨床等。

(3) 轮廓控制数控机床 如图 0-1c 所示, 数控系统能够连续控制两个或两个以上坐标方向的联合运动。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铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。

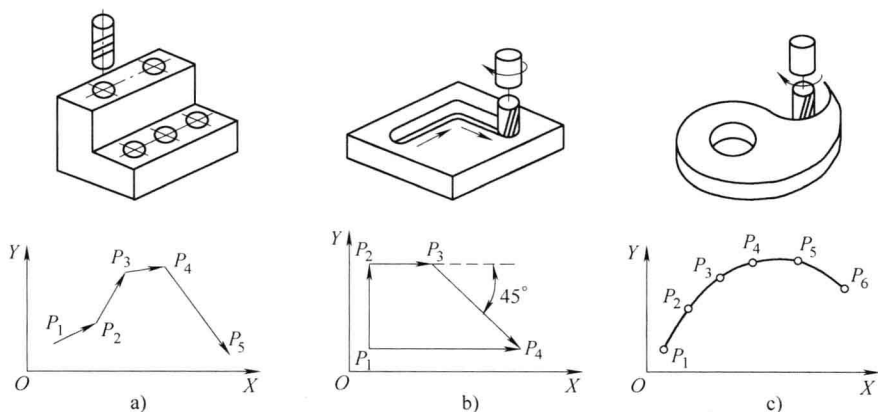


图 0-1 数控机床的运动控制方式

a) 点位控制 b) 点位直线控制 c) 轮廓控制

3. 按数控机床控制方式分类

(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，由步进电动机驱动线路和步进电动机组成，如图 0-2 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动机转动一定的角度，通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。

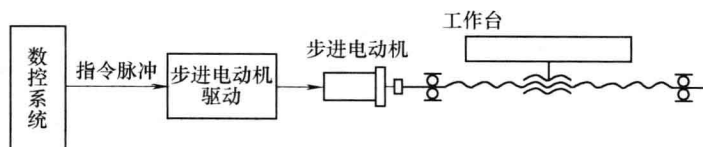


图 0-2 开环控制数控机床

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。

(2) 半闭环控制系统 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，如图 0-3 所示。

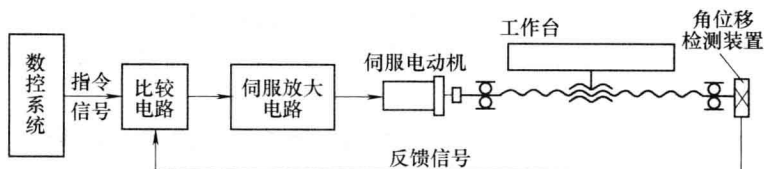


图 0-3 半闭环控制数控机床

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。

(3) 闭环控制系统 闭环控制系统是在机床移动部件位置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作补充位移，直到差值消除时才停止移动，达到精确定位的控制

系统,如图 0-4 所示。

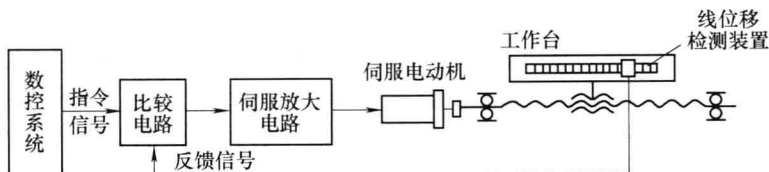


图 0-4 闭环控制数控机床

闭环控制系统的定位精度高于半闭环控制系统,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。

4. 按数控机床联动轴数分类

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。数控机床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,可以铣削加工平面轮廓或车削加工回转体类零件。

(2) 两轴半联动 在两轴联动的基础上增加了 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加工完成。

(4) 多轴联动 数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动。多轴联动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、三轴联动加工;五轴机床也可以只用到三轴联动加工,而其他两轴不联动。

二、数控机床的主要性能指标与功能

1. 数控机床的主要性能指标

(1) 规格尺寸 数控车床的规格尺寸主要有床身与刀架最大回转直径、最大车削长度及最大车削直径等;数控铣床的规格尺寸主要有工作台尺寸、工作台T形槽尺寸及工作台行程等。

(2) 主轴系统 数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动,具有较宽的调速范围、较高的回转精度,以及较高的刚度和抗振性。目前,数控机床主轴普遍达到 $5000 \sim 10000\text{r/min}$,甚至更高的转速,对提高加工质量和各种小孔的加工极为有利。可以通过操作面板上的转速倍率开关直接改变主轴转速。

(3) 进给系统 进给系统有进给速度、脉冲当量(最小位移量)、定位精度、重复定位精度及螺距范围等主要技术参数。

1) 进给速度是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素,直接受数控装置运算速度、机床运动特性和工艺系统刚度的限制。数控机床的进给速度可达到 $10 \sim 30\text{mm/min}$ 。

其中,最大进给速度为加工时的最大速度,最大快进速度为不加工时的最快速度。可通过操作面板上的进给倍率开关调整进给速度。

2) 脉冲当量是影响数控机床加工公差等级和表面质量的重要指标。它表示机床坐标轴可达到的控制精度(可以控制的最小位移增量),即数控系统每发出一个脉冲时坐标轴移动的距离。普通数控机床的脉冲当量为 0.001mm ,经济型数控机床的脉冲当量为 0.01mm ,精密或超精密数控机床的脉冲当量为 $0.001 \sim 0.0001\text{mm}$ 。脉冲当量越小,数控机床的加工公差等级和表面质量越高。

3) 定位精度和重复定位精度。定位精度是指数控机床工作台或其他运动部件实际运动位置与指令位置的一致程度,其不一致的差值即为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给系统误差,以及运动部件导轨的几何误差等。定位误差直接影响加工零件的尺寸精度。重复定位精度是指在相同的操作方法和条件下,在完成规定的操作次数后得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差,它影响批量加工零件的一致性。

(4) 刀具系统 刀具系统包括刀架工位数、刀具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间及重复定位精度等内容。加工中心刀库容量与换刀时间直接影响其生产率。通常,中小型加工中心的刀库容量为 $16 \sim 60$ 把,大型加工中心可达 100 把以上。换刀时间是指自动换刀系统将主轴上的刀具与刀库中的刀具进行交换所需要的时间,一般可在 $5 \sim 20\text{s}$ 的时间内完成换刀。

(5) 其他指标

1) 电气,包括主电动机、伺服电动机的规格型号和功率等。

2) 冷却系统,包括冷却箱容量、冷却泵输出量等。

3) 外形尺寸,表示为机床长 $\times$ 宽 $\times$ 高。

4) 机床重量。

2. 数控机床的主要功能

(1) 可控轴数 可控轴数是指数控系统最多可以控制的坐标轴数目,包括移动轴和回转轴。

(2) 插补功能 所谓插补,就是在工件轮廓的某起始点和终止点之间进行“数据密化”,并求取中间点的过程。插补功能是指数控机床能够实现的线性加工能力。

(3) 进给功能 数控系统的进给功能包括快速进给、切削进给、手动连续进给、点动进给、进给倍率修调及自动加减速等功能。

(4) 主轴功能 数控系统的主轴功能包括恒转速控制、主轴定向停止及主轴转速修调等。

(5) 刀具补偿功能 刀具补偿功能包括刀具位置补偿、刀具半径补偿和刀具长度补偿。

(6) 操作功能 数控机床通常有单程序段执行、跳段执行、试运行、图形模拟、机械锁住、暂停和急停等功能。有的还有软件操作功能。

(7) 程序管理功能 数控系统的程序管理功能是指对加工程序的检索、编辑、修改、插入、删除、更名和程序的存储、通信等功能。

(8) 图形显示功能 一般的数控系统都具有 CRT 显示,可以显示字符和图形、人机对话、自诊断等,具有刀具轨迹的动态显示功能。

(9) 辅助编程功能 除基本的编辑功能外,数控系统通常还具有固定循环、镜像、图

形缩放、子程序、宏程序、坐标系旋转和极坐标等编程功能。

(10) 自诊断报警功能 现代数控系统具有人工智能的故障诊断系统,可以用来实现对整个加工过程的监视,诊断数控系统的故障,并及时报警。

(11) 通信功能 数控系统一般都配有 RS-232C 或 RS-422 远距离串行接口,可以按照用户的格式要求与同一级计算机进行多种数据交换。现代数控系统大都具有制造自动化协议 (Manufacture Automation Protocol, MAP) 接口,并采用光缆通信,提高数据传送的速度和可靠性。

三、数控编程的内容与方法

数控加工按照事先编制好的零件加工程序,经机床数控系统处理后,使机床自动完成零件的加工。

零件加工程序的编制是根据零件的图样要求,将加工零件的全部工艺过程及工艺参数、位移数据、辅助运动(如主轴准停、切削液开关和自动换刀等),以规定的指令代码及程序格式编制成加工程序,经过调试后传送或输入到数控装置中,从而控制机床加工零件。

数控机床程序编制的步骤为:分析零件图样→制订工艺方案→数值计算→编写加工程序→加工程序的输入→程序校验和试切。

1. 数控编程的内容

(1) 分析零件图样 编程人员首先要根据零件图,分析零件的材料、形状、尺寸、精度、毛坯形状和热处理要求等,明确加工的内容和要求。

(2) 制订工艺方案 在详细分析零件图样的基础上,拟订零件加工方案,确定加工顺序、进给路线、定位与装夹方法、刀具及合理的切削用量等,并选择合适的数控机床,充分发挥机床的效能。零件的装夹次数应尽可能少,加工路线应尽可能短,要正确选择对刀点、换刀点,减少换刀次数,在保证零件加工质量的前提下,降低加工成本,提高加工效率。此外,还应填写有关的工艺文件,如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、工件装夹和零点设定卡片等。

(3) 数值计算 在确定了工艺方案后,需要根据零件的几何尺寸、加工路线和允许的编程误差等,计算机床数控系统所需要输入的数据,称为数值计算。

(4) 编写加工程序 根据所计算出的刀具运动轨迹坐标值、已经确定的切削用量以及辅助动作,使用数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,编写零件加工程序。

(5) 加工程序的输入 编写的零件加工程序可以直接用键盘手工输入或通过通信传输的方式输入到数控系统。

(6) 程序校验和试切 在正式加工之前,必须对程序进行校验和试切。通常可采用机床空运行的功能来检查机床动作和运动轨迹的正确性,以检验程序。在具有图形模拟功能的数控机床上,可通过显示进给轨迹或模拟刀具对工件的切削过程对程序进行检查。但是,这些方法只能检验出运动是否正确,不能检验被加工零件的加工公差等级。因此,要进行零件的试切。试切发现加工误差超差时,应分析超差产生的原因,采取误差补偿措施,加以修正。

2. 数控编程的方法

数控程序的编制方法有手工编程和自动编程两种。

(1) 手工编程 手工编程就是从分析零件图样、制订工艺方案、图形的数学处理、编写零件加工程序单、制备控制介质到程序的校验等主要由人工完成的编程方法。

对于几何形状简单、计算量不大、程序段不多的零件,采用手工编程即可实现,而且较为经济、及时。因此,手工编程广泛应用于点位加工或由直线与圆弧组成的轮廓加工中。但对于形状复杂的零件,特别是由非圆曲线、空间曲线及曲面等几何要素组成的零件,用手工编程计算量大而烦琐,且容易出错,有时甚至手工编程无法完成,必须采用自动编程的方法。

(2) 自动编程 自动编程是指在编程过程中,除了分析零件图样和制订工艺方案由人工进行外,其余工作均由计算机辅助完成的编程方法。

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,编程人员只需按零件图样的要求将加工信息输入到计算机。计算机完成数值计算和后置处理后,编制出零件加工程序单。由于计算机可自动绘制出刀具中心的运动轨迹,使编程人员可及时检查和修改程序。

自动编程可以大大减轻编程人员的劳动强度,提高编程效率和编程质量,同时解决了手工编程无法解决的复杂零件的编程难题。

自动编程的方法主要有如下两种:

1) 用编程语言编程。程序员根据拟订好的工艺方案,使用规定的数控语言(例如 GB/T 12646—1990《数字控制机床的数控处理程序输入基本零件源程序参考语言》)编制一个工件源程序。然后,利用计算机和相应的前置处理程序、后置处理程序对零件的源程序进行处理,得到加工程序。

2) 用 CAM(计算机辅助制造)软件编程。将加工零件以图形形式输入计算机,由计算机自动进行数值计算、前置处理,在屏幕上形成加工轨迹并及时修改,再通过后置处理形成加工程序,输入数控机床进行加工。这种编程方法实现了 CAM 与 CAD(计算机辅助设计)的高度结合,是自动编程系统的发展方向。

四、数控机床坐标系

数控机床加工零件时,刀具与工件的相对运动必须在确定的坐标系中,数控机床才能按编制的程序进行加工。

1. 坐标系的确定原则

我国根据 ISO 国际标准制订了 GB/T 19660—2005《工业自动化系统与集成 机床数值控制坐标系和运动命名》,对数控机床的坐标和运动方向作了明文规定。它与 ISO841 等效。

(1) 机床相对运动的规定 为了使编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床的加工过程。特规定:假定刀具相对于静止的工件坐标系而运动。

(2) 标准坐标系的规定 数控机床上的坐标系采用标准的右手笛卡儿直角坐标系,如图 0-5 所示。伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为 90° ,大拇指的指向为 X 坐标的正方

向，食指的指向为 Y 坐标的正方向，中指的指向为 Z 坐标的正方向。

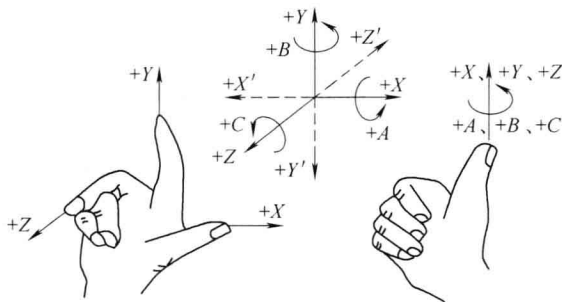


图 0-5 笛卡儿坐标系

围绕 X 、 Y 、 Z 坐标旋转的旋转坐标分别用 A 、 B 、 C 表示，根据右手螺旋定则，大拇指的指向为 X 、 Y 、 Z 坐标中任意轴的正向，则其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A 、 B 、 C 的正向。

对于工件运动而刀具不动的数控机床，其实际运动的坐标轴用带“'”的字母表示，如 X' 、 Y' 、 Z' 等。其运动方向与 X 、 Y 、 Z 相反。

(3) 运动方向的规定 机床某一部件运动的正方向是增大刀具与工件之间距离的方向。

2. 坐标轴的确定

确定机床坐标轴时，一般先确定 Z 轴，再依次确定 X 轴和 Y 轴。

(1) Z 轴 规定平行于机床主轴轴线的坐标轴为 Z 轴，并取刀具远离工件的方向为其正方向。

如图 0-6、图 0-7 所示，在车床和铣床上加工零件，主轴方向为 Z 轴方向，其切削进给方向为 Z 轴的负方向，而退刀方向为 Z 轴的正方向。

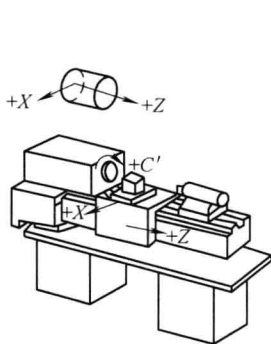


图 0-6 数控车床

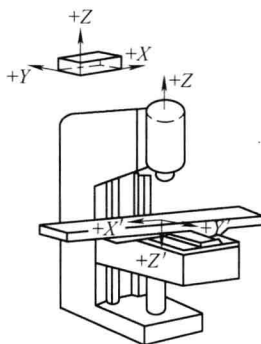


图 0-7 立式升降台铣床

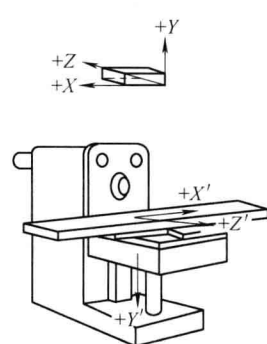


图 0-8 卧式升降台铣床

若机床无主轴，如牛头刨床，则规定垂直于工件装夹平面的方向为 Z 轴方向。

若有多根主轴，则选垂直于工件装夹面的主轴为主要主轴， Z 轴则平行于该主轴轴线。如龙门刨床。

(2) X 轴 X 轴平行于工件的装夹面，一般是水平的，且垂直于 Z 轴。对于工件旋转的机床，例如图 0-6 所示的车床， X 轴的方向在工件的径向上，且平行于横向拖板。刀具离开

工件旋转轴的方向为 X 轴的正方向。

对于刀具旋转的机床（如铣床、镗床、钻床等），若主轴是竖直的，当从主轴向立柱看时， X 轴的正方向指向右方，如图 0-7 所示立式升降台铣床；若主轴是水平的，当从主轴向机床看时， X 运动的正方向指向右方，如图 0-8 所示的卧式升降台铣床。因此，当面对机床看时，立式铣床与卧式铣床的 X 轴正方向相反。

对于无主轴机床（如牛头刨床），则主要切削方向为 X 轴正方向。

(3) Y 轴 Y 轴垂直于 X 、 Z 坐标轴。 Y 轴及其正方向根据已确定的 X 和 Z 轴及其正方向，按照右手笛卡儿直角坐标系来确定。

(4) 旋转运动 旋转运动 A 、 B 和 C 相应地表示其回转轴线平行于 X 、 Y 和 Z 轴的旋转运动。 A 、 B 和 C 的正方向利用右手螺旋定则根据 X 、 Y 和 Z 轴的正方向确定。

(5) 附加坐标系 如果在基本的直角坐标轴 X 、 Y 、 Z 运动之外，还有平行于 X 、 Y 、 Z 轴线的其他运动，则可建立相应的第二辅助坐标 U 、 V 、 W 及第三辅助坐标 P 、 Q 、 R ，如图 0-9、图 0-10 所示。

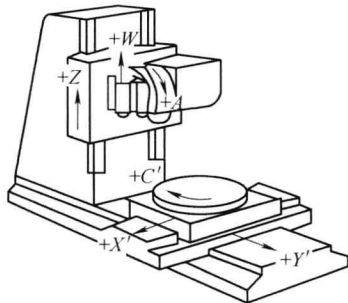


图 0-9 立式五轴数控铣坐标轴

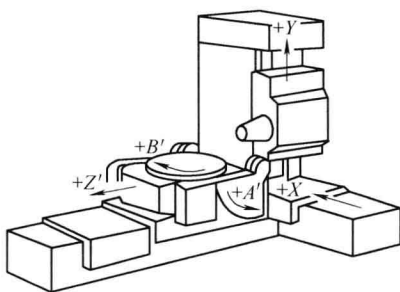


图 0-10 卧式五轴数控铣坐标轴

3. 机床坐标系与工件坐标系

数控机床的坐标系包括机床坐标系和工件坐标系。

(1) 机床坐标系、机床原点与机床参考点 机床坐标系是机床上固有的坐标系，是机床制造和调整的标准，也是工件坐标系设定的标准。机床坐标系是数控机床出厂时通过预先在机床上设定的一个固定点来建立的，这个固定点称为机床原点或机床零点。数控车床的机床原点一般取卡盘端面与主轴轴线的交点，如图 0-11 所示；数控铣床的机床原点一般取在 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴正方向的极限位置上，如图 0-12 所示。

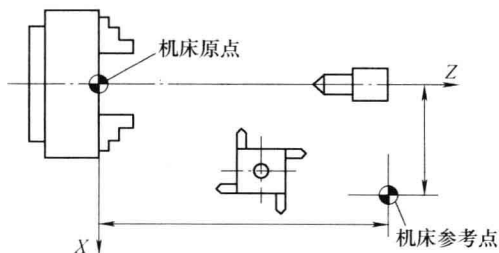


图 0-11 数控车床的机床坐标系

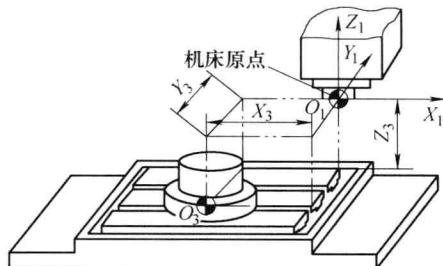


图 0-12 数控铣床的机床坐标系

机床参考点是数控机床上又一个重要的固定点, 其与机床原点之间的位置用行程开关精确设定, 与机床原点的相对位置是固定的, 用于对机床运动进行检测和控制。大多数机床将刀具沿坐标轴正向运动的极限点作为参考点 (见图 0-11)。通常数控铣床的机床原点和机床参考点是重合的, 加工中心的参考点一般为机床的自动换刀位置。机床参考点的位置在机床出厂时已经调整好, 一般不作变动。

数控机床开机时, 必须先确定机床原点, 而确定机床原点的过程就是刀架返回参考点。通过确认参考点, 即可确定机床原点。只有机床参考点被确认后, 刀具 (或工作台) 移动才有基准。

(2) 工件坐标系 工件坐标系, 又称为编程坐标系, 是编程人员在编写程序时, 根据零件图样及加工工艺, 以工件上某一固定点为原点建立的笛卡儿坐标系。工件坐标系中各轴的方向应该与所使用的数控机床相应的坐标轴方向一致。

工件坐标系的原点位置为工件原点, 亦称工件零点或编程零点, 其位置是由编程人员自行确定的。工件原点的确定原则是简化编程计算, 故应尽量将工件原点设在零件图的尺寸基准或工艺基准处。数控车床的工作原点一般设在工作轴中心线与工件右端面或左端面的交点处, 如图 0-13 所示。数控铣床 X、Y 轴方向的工件原点可设在工件外轮廓的某一个角上, 或设在工件的对称中心线上, 如图 0-14 所示。Z 轴方向的零点设在工件的表面上便于对刀。

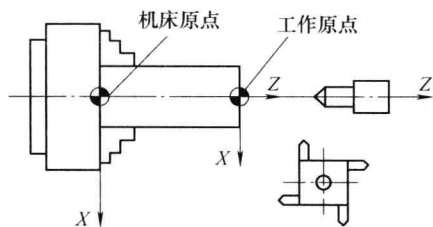


图 0-13 数控车床坐标系

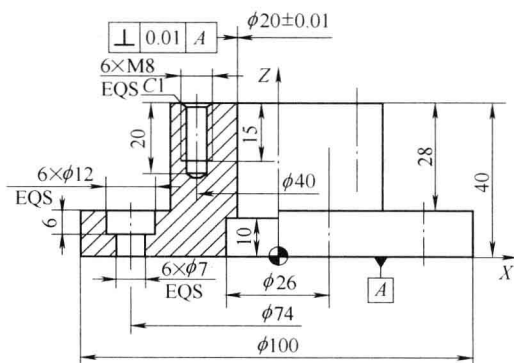


图 0-14 铣削工件坐标系

此外, 工件原点尽量选在精度较高的工件表面上, 以提高被加工零件的加工公差等级; 应将刀具起点和程序原点设同一处, 这样可以简化程序, 便于计算。

4. 对刀点和换刀点的确定

工件加工前, 必须通过对刀来建立机床坐标系和工件坐标系的位置关系。所谓对刀, 就是将刀具移向对刀点, 并使刀具的刀位点和对刀点重合的操作。

(1) 刀位点 刀位点是指刀具的定位基准点。在进行数控加工编程时, 往往是将整个刀具视为一个点, 就是刀位点。它是在刀具上用于表现刀具位置的参照点。车刀、镗刀的刀位点一般是指刀尖或刀尖圆弧中心, 圆弧形车刀的刀位点为圆弧中心。常用车刀的刀位点如图 0-15 所示。立铣刀、面铣刀的刀位点是刀具底面的中心; 球头铣刀的刀位点是球头的球心点或球头顶点; 钻头的刀位点是钻尖, 如图 0-16 所示。

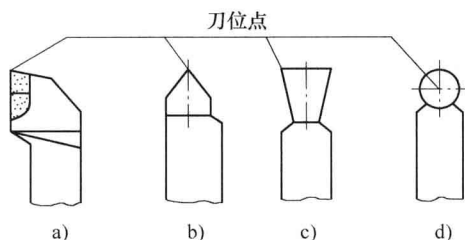


图 0-15 车刀刀位点

a) 90°偏刀 b) 螺纹车刀 c) 切断刀 d) 圆弧车刀

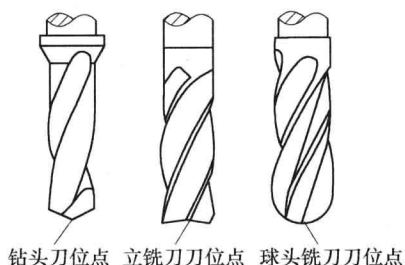


图 0-16 钻头和铣刀刀位点

钻头刀位点 立铣刀刀位点 球头铣刀刀位点

(2) 对刀点 对刀点是指通过对刀确定刀具与工件相对位置的基准点。对于数控机床来说,在加工开始时,确定刀具与工件的相对位置是很重要的。对刀点可以设置在被加工零件上,也可以设置在夹具上与零件定位基准有一定尺寸联系的某一位置。对刀点的选择原则如下:

- ①应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上,以提高零件的加工公差等级。
- ②对刀点应选择容易找正、加工过程中便于检查的位置。
- ③为便于坐标值的计算,最好选在坐标系的原点上,或选在已知坐标值的点上。

(3) 换刀点 加工中心、数控车床等多刀加工的机床,常需要在加工过程中自动换刀,所以编程时,要设置换刀点。为防止换刀时碰伤零件或夹具,换刀点常常设置在被加工零件轮廓的外面,并留有一定的安全量。换刀点可以是某一固定点(如加工中心,其换刀机械手的位置是固定的),也可以是任意的一点(如数控车床)。

5. 数控编程数值计算

数值计算一般包括以下两个内容。

①根据零件图样给出的形状、尺寸和公差等直接通过数学方法,计算出编程时所需要的有关各点的坐标值。

②当按照零件图样给出的条件不能直接计算出编程所需的坐标,也不能按零件给出的条件直接进行工件轮廓几何要素的定义时,就必须根据所采用的具体工艺方法、工艺装备等加工条件,对零件原图形及有关尺寸进行必要的数学处理或改动,才可以进行各点的坐标计算和编程工作。

(1) 基点和节点的坐标计算 零件的轮廓是由直线、圆弧、二次曲线等几何要素组成的,各几何要素之间的连接点称为基点。如两直线的交点、直线与圆弧、或圆弧与圆弧的交点或切点、圆弧与其他二次曲线的交点或切点等。基点坐标是编程中必需的重要数据,如图 1-17 所示。

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零件,只需要计算出基点,就能满足编程要求。当零件的几何形状比较复杂,具有非圆曲线等二次曲线轮廓时,用只有直线和圆弧插补功能的数控机床加工就需要做一定的数学处理。数学处理的方法是:在允许的编程误差条件下,用若干直线段或圆弧段逼近零件轮廓非圆曲线,这些逼近线段与被加工曲线的交点或切点称为节点。如图 0-18 所示,对图中曲线用直线逼近时,其交点 A、B、C、D、E、F 等即为节点。