



# FANUC 数控手工编程 及实例详解

李体仁 主编  
孙建功 郑民 副主编



化学工业出版社



# FANUC 数控手工编程 及实例详解

李体仁 主编  
孙建功 郑民 副主编



 化学工业出版社  
· 北京 ·

本书是作者结合多年数控编程、数控加工工艺的教学、科研、工厂实践经验编写而成。内容包括数控加工编程基础、数控铣床和加工中心编程及其应用、数控车床和车削加工中心编程及其应用、用户宏程序以及综合编程实例等。本书通过大量的实例分析由浅入深，分模块阐述数控编程基本知识和综合运用。全书内容丰富，全部实例均来自作者教学加工实践的案例，实用性强。

本书便于数控加工技术人员、高级技工自学，也可作为高等工科院校、高等职业技术学院、中专、电大等数控专业的教材和参考书，也可作为企业数控加工职业技能的培训教材。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC 数控手工编程及实例详解/李体仁主编.  
北京: 化学工业出版社, 2016. 12  
ISBN 978-7-122-28720-5

I. ①F… II. ①李… III. ①数控机床-程序设计  
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 305393 号

---

责任编辑: 张兴辉  
责任校对: 边涛

装帧设计: 王晓宇

---

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 装: 三河市延风印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$  字数 420 千字 2016 年 12 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: 59.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

数控加工技术是目前 CAD/CAPP/CAM 系统中最能明显发挥效益的环节之一，其在实现设计加工自动化、提高加工精度和加工质量、缩短产品研制周期等方面发挥着重要作用。在诸如航空工业、汽车工业等领域有着大量的应用。

《数控手工编程技术及实例详解》自 2007 年出版以来，广受读者欢迎和好评。2012 年根据数控编程的特点和读者需要，修订拆分为《FANUC 系统》和《西门子系统》两个分册，同样受到了广大读者的欢迎，许多高等高职院校还用此书作为教材。本次通过对以往读者反馈意见的分析和作者在德国为期一年的作为访问学者的学习体会，结合国内的情况，对 FANUC 系统的分册内容进行了修订和重写。在修订过程中重点修改了一下几个方面的内容：

1. 数控加工不仅是指令的简单了解和熟练，应当对重点和难点进行深入的理解。修改稿对用户反映比较难理解和掌握的知识进行了深入的介绍。
2. 注重基础的同时，从实际加工的角度，增加了综合实例，强调知识的综合。
3. 体现了当今数控加工的新发展，如卧式加工中心工件坐标系的建立，多轴数控机床等。
4. 在每章后增加了思考题与习题，对其中有一定难度的题目，读者可通过与其他人研讨的方法解决。
5. 参照德国 IHK 的考试模式，本书的最后一章给出了数控车和数控铣的一些具体的实例，包含了手工编程的基本元素，如数控铣主要为平面、轮廓、槽、孔的加工，希望读者独立完成。

《FANUC 数控手工编程及实例详解》是作者结合多年数控编程、数控加工工艺的教学、科研、工厂实践经验编写而成，主要内容包括数控加工编程基础、数控铣床和加工中心编程及其应用、数控车床和车削加工中心编程及其应用、用户宏程序以及综合编程实例等。本书通过大量典型零件数控加工实例分析，介绍了数控加工工艺和数控编程工程应用两方面的知识，侧重于数控加工技术综合应用，强调基础性和实用性。

本书由李体仁主编，孙建功、郑民副主编，其中第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 6 章由陕西科技大学李体仁撰稿，第 5 章由陕西科技大学李体仁、孙建功撰稿，第 7 章由四川省南充中等职业学校郑民撰稿。全书由李体仁、郑民汇总和整理。本书在编写过程中，孙宇佳、王悉颖、吴志强、念勇、曹艳兵、李朋国、焦双保、李选辉等参与了其中部分图的绘制和资料整理。

由于水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者不吝赐教、批评指正，在此深表感谢！

主编

# 目 录

<b>第 1 章 数控加工编程基础</b> .....	1
1.1 数控编程方法 .....	1
1.1.1 手工编程的过程 .....	1
1.1.2 计算机辅助编程 .....	4
1.2 数控机床坐标系确定的原则 .....	5
1.3 机床原点与参考点 .....	8
1.4 工件坐标系 .....	9
<b>第 2 章 数控铣床和加工中心编程</b> .....	12
2.1 工件坐标系建立的方法 .....	12
2.1.1 G92 设定工件坐标系 .....	12
2.1.2 G54~G59 设定工件坐标系 .....	12
2.1.3 卧式加工中心工件坐标系的 确定 .....	14
2.2 程序的结构和组成 .....	17
2.2.1 程序有关的术语 .....	17
2.2.2 程序的结构 .....	19
2.2.3 子程序 .....	24
2.3 数控铣床编程指令 .....	26
2.3.1 基本编程指令 .....	26
2.3.2 刀长补的建立和取消 G43、G44、 G49 .....	32
2.3.3 刀具半径补偿的建立和取消 G41、 G42、G40 .....	36
2.3.4 孔加工固定循环 .....	47
2.3.5 孔固定循环指令 .....	51
2.4 加工中心换刀编程指令 .....	61
2.4.1 加工中心的组成 .....	61
2.4.2 加工中心的刀库类型 .....	61
2.4.3 刀具在主轴上的固定方式 .....	62
2.4.4 刀具在刀库中的固定方式 .....	64
2.4.5 机械手的换刀形式 .....	64
2.4.6 换刀时间 .....	65
2.4.7 加工中心换刀实例 .....	66
2.4.8 加工中心刀具交换的相关指令 .....	70
2.5 数控铣和加工中心高级编程指令 .....	72
2.5.1 机床坐标系选择 G53 .....	72
2.5.2 子坐标系 (G52) .....	72
2.5.3 极坐标 (G15、G16) .....	74
2.5.4 坐标系旋转 (G68、G69) .....	77
<b>第 3 章 数控铣床和加工中心编程应用</b> .....	82
3.1 平面铣削 .....	82
3.1.1 常用的装夹装置和方法 .....	82
3.1.2 平面和台阶面铣削加工 .....	83
3.1.3 平面铣削的进刀方式 .....	85
3.1.4 加工实例 .....	91
3.2 轮廓铣削加工 .....	93
3.2.1 刀具的走刀路线 .....	94
3.2.2 轮廓粗加工新型刀具——波形立 铣刀 .....	95
3.2.3 轮廓精加工采用顺铣 .....	95
3.2.4 铣刀螺旋槽的数量 .....	95
3.2.5 圆弧插补的进给率 .....	96
3.2.6 加工实例 .....	97
3.3 键槽加工编程 .....	100
3.3.1 键槽的技术要求 .....	100
3.3.2 键槽的铣削方法 .....	101
3.3.3 工件的装夹 .....	101
3.3.4 加工实例 .....	102
3.4 孔加工 .....	105
3.4.1 孔位确定及其坐标值的计算 .....	105
3.4.2 多孔加工的刀具走刀路线 .....	105
3.4.3 加工实例一 (简单钻孔加工) .....	106
3.4.4 加工实例二 (多孔零件的加工) .....	107
3.5 圆周分布孔的加工 .....	112
3.5.1 螺栓孔圆周分布模式 .....	112
3.5.2 螺栓圆周分布孔的计算公式 .....	112
3.6 型腔铣削 .....	114
3.6.1 矩形型腔 .....	114
3.6.2 矩形型腔编程实例 .....	116
<b>第 4 章 数控车床和车削加工中心   编程</b> .....	122
4.1 数控车削编程过程 .....	122
4.2 数控车削编程的特点 .....	122
4.3 数控车床工件坐标系建立的三种 方法 .....	124
4.4 编程基本知识 .....	127
4.4.1 程序的构成 .....	127
4.4.2 MSFT 指令 .....	132
4.5 G 指令 .....	135
4.5.1 直线插补 G01 .....	136
4.5.2 快速移动 G00 .....	137
4.5.3 圆弧插补 G02、G03 .....	138

4.5.4 暂停指令 G04 .....	140	符号 .....	184
4.6 螺纹切削编程 .....	140	5.2.2 运算 .....	185
4.6.1 完整螺纹切削指令 G32 .....	143	5.2.3 运算次序 .....	186
4.6.2 螺纹切削单一循环指令 G92 .....	146	5.2.4 转移和循环 .....	186
4.6.3 多重螺纹切削循环 G76 .....	148	5.2.5 宏程序调用 .....	188
4.7 简单台阶轴的单一循环编程 .....	149	5.2.6 宏程序加工实例 .....	191
4.7.1 轴向切削循环 G90 .....	149	<b>第 6 章 数控车床和车削加工中心编程</b>	
4.7.2 径向切削循环 G94 .....	152	<b>应用</b> .....	198
4.8 复杂轴类零件的复合循环编程 .....	155	6.1 轴类零件的加工 .....	198
4.8.1 轴向粗车循环 G71 .....	155	6.1.1 简单轴的加工 .....	200
4.8.2 径向粗车循环 G72 .....	157	6.1.2 复杂轴类零件的编程加工	
4.8.3 封闭切削循环 G73 .....	159	(一) .....	202
4.8.4 精加工循环 G70 .....	161	6.1.3 复杂轴类零件的编程加工	
4.9 切槽编程 .....	164	(二) .....	204
4.9.1 轴向切槽多重循环 G74 .....	164	6.2 综合实例 .....	207
4.9.2 径向切槽多重循环 G75 .....	166	6.3 盘套类零件的加工 .....	211
4.10 刀尖半径补偿 G40、G41、G42 .....	167	6.3.1 加工实例 1 .....	211
4.10.1 欠切、过切的产生 .....	167	6.3.2 加工实例 2 .....	213
4.10.2 刀尖半径补偿指令格序 .....	168	6.3.3 加工实例 3 .....	217
4.10.3 刀尖半径补偿的应用 .....	171	6.4 轴套类零件的加工 .....	220
4.11 车削加工中心编程 .....	173	6.4.1 轴套类零件的加工中软爪的	
4.11.1 车削中心的 C <sub>s</sub> 轴 .....	173	使用 .....	220
4.11.2 动力刀架 .....	174	6.4.2 加工实例 .....	220
4.11.3 C <sub>s</sub> 轴编程 .....	174	6.5 螺纹、切槽(切断)零件的加工 .....	223
<b>第 5 章 用户宏程序</b> .....	181	6.5.1 螺纹车削的一些注意事项 .....	223
5.1 在宏程序主体中使用变量 .....	181	6.5.2 螺纹加工 1 .....	224
5.1.1 变量表示 .....	181	6.5.3 螺纹加工 2 .....	225
5.1.2 变量的类型 .....	181	6.5.4 螺纹加工 3 .....	226
5.1.3 变量值的范围 .....	184	<b>第 7 章 综合练习</b> .....	231
5.1.4 变量的引用 .....	184	7.1 数控车综合练习 .....	231
5.2 变量的运算 .....	184	7.2 数控铣综合练习 .....	238
5.2.1 算术、逻辑和关系运算及函数运算		<b>参考文献</b> .....	244

# 第 1 章 数控加工编程基础

数控编程是从零件图纸到获得数控加工程序的全过程。数控编程的内容主要包括：根据零件分析加工要求进行工艺设计，以确定加工方案，选择合适的数控机床、刀具、夹具，确定合理的走刀路线及切削用量等；按照数控系统可接受的程序格式，完成零件加工程序编制，然后对其进行验证和修改，直到加工出合格的零件。

## 1.1 数控编程方法

数控编程通常分为手工编程和计算机辅助编程两类。根据零件加工表面的复杂程度、数值计算的难易程度、数控机床的数量及现有编程条件等因素，数控加工程序可通过手工编程或计算机辅助编程来获得。对于点位加工或几何形状不太复杂的零件，数控编程计算较简单、程序段不多，手工编程是可行的。但对形状复杂的零件，特别是具有曲线、曲面（如叶片、复杂模具型腔）或几何形状并不复杂但程序量大的零件（如复杂孔系的箱体），以及数控机床拥有量较大而且产品不断更新的企业，手工编程就很难胜任，需要采用计算机辅助编程。

### 1.1.1 手工编程的过程

手工编程的一般步骤如图 1-1 所示。

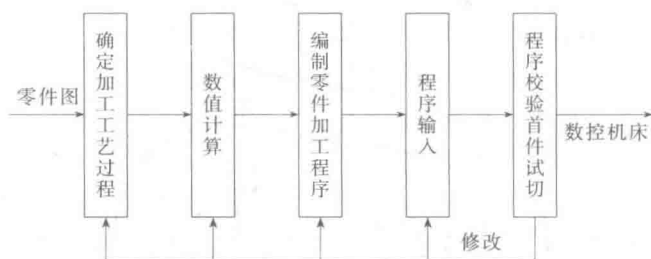


图 1-1 数控编程的步骤

#### (1) 分析零件图、确定加工工艺过程

在确定加工工艺过程时，编程人员要根据被加工零件图样对工件的形状、尺寸、技术要求进行分析，选择加工方案，确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数等，同时还要考虑所用数控机床的指令功能，充分发挥机床的效能，尽量缩短走刀路线，减少编程工作量。

#### (2) 数值计算

根据零件图的几何尺寸确定工艺路线及设定工件坐标系，计算零件粗、精加工运动的轨迹，得到刀位数据（刀位点包括基点和节点）。

① 基点的计算 一个零件的轮廓往往是由许多不同的几何元素组成，如直线、圆弧等。各几何元素间的连接点称为基点，如两直线间的交点、直线与圆弧或圆弧与圆弧之间的交点或切点。数控机床都具有直线插补功能和圆弧插补功能，无论是直线插补还是软件插补，都需要知道线段的起点和终点。所以手工编程时，在完成零件工艺分析和确定加工路线以后，

数值计算就成了程序编制中的一个重要环节，而其中的基点计算是数值计算中最繁琐、最复杂的计算。

刀位数据中的基点计算可通过手工计算和绘图软件的特性菜单栏查询得到。刀位数据中的基点，使用绘图软件特性菜单栏查询，一般精度高、速度快，在实际的编程中得到广泛的使用。

例：图 1-2 中的 A、B、C、D 是该零件轮廓上的基点。使用 AUTOCAD 确定基点坐标的步骤如下。

a. 在 AUTOCAD 软件中完成图形的绘制。

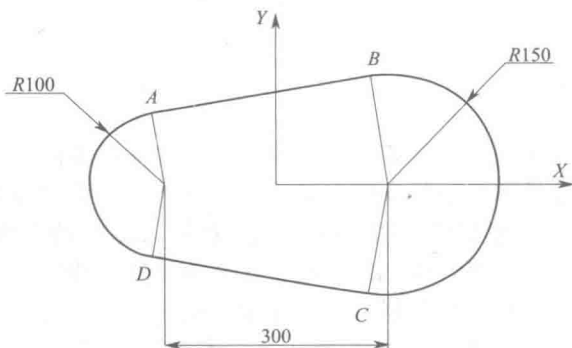


图 1-2 利用 AUTOCAD 软件求基点

b. 使用 UCS 工具栏建立工件坐标系，在 AUTOCAD 软件中建立的用户坐标系的原点与工件坐标系的原点重合，如图 1-3 所示。

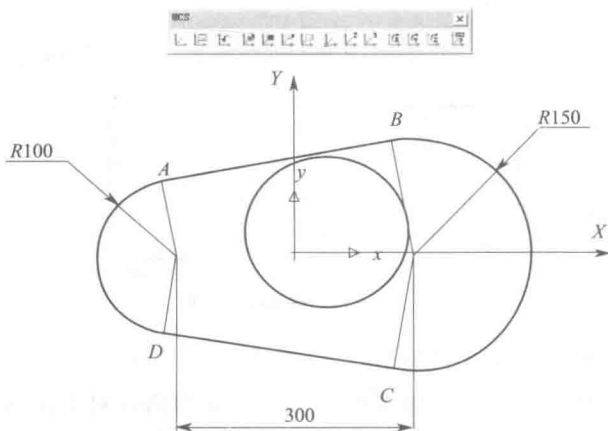


图 1-3 建立用户坐标系

c. 使用特性菜单栏，查询 A、B、C、D 点的坐标，如图 1-4 所示。

② 节点坐标的确定 在只有直线和圆弧插补功能的数控机床上加工零件时，有一些平面轮廓是非圆方程曲线，如渐开线、阿基米德螺线、双曲线、抛物线等。还有一些平面轮廓是用一系列实验或经验数据点表示的，没有表达轮廓形状的曲线方程（称为列表曲线）。这就使被加工的零件轮廓形状与机床的插补功能出现不一致。对于这类零件的加工就只能采用逼近法。

当采用不具备非圆曲线插补功能的数控机床加工非圆曲线轮廓的零件时，在加工程序的编制时，常常需要用多个直线段或圆弧段去近似代替非圆曲线，这个过程称为拟合（逼近）



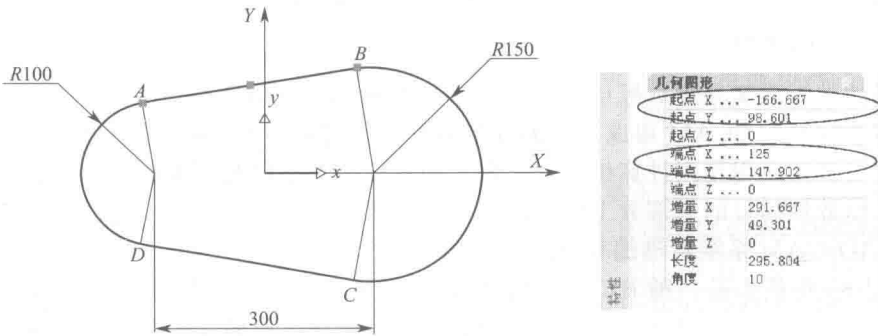


图 1-4 基点坐标的查询

处理。拟合线段的交点或切点称为节点。图 1-5 中的 G 点为圆弧拟合非圆曲线的节点，图 1-6 中的 A、B、C、D 点均为直线逼近非圆曲线时的节点。

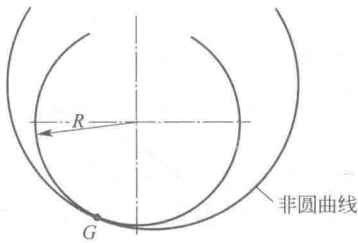


图 1-5 圆弧拟合与节点

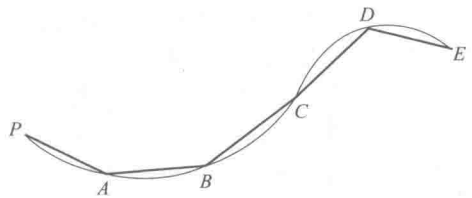


图 1-6 直线拟合与节点

### ③ 辅助计算

a. 无刀具半径补偿功能的数值计算。在铣削加工中，是用刀具中心作为刀位点进行编程。但在平面轮廓加工中，零件的轮廓形状总是由刀具切削刃部分直接参与切削形成的，因此有时编程轨迹和零件轮廓并不完全重合。对于具有刀具半径补偿功能的机床，只要在程序中加入有关的刀具补偿指令，就会在加工中进行自动偏置补偿。但对于没有刀具半径补偿功能的机床，只能在编程时做有关的补偿计算。

b. 按进给路线进行一些辅助计算。在平面轮廓加工中，常要求切向切入和切向切出。例如铣削图 1-7 所示内圆弧时，最好安排从圆弧过渡到圆弧加工路线，以便提高内孔表面的加工精度，这时，过渡圆弧的坐标值也要进行计算。

#### (3) 编制零件加工程序。

加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后，编程人员根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式，逐段编写加工程序。

#### (4) 输入加工程序

把编制好的加工程序通过控制面板输入到数控系统，或通过程序的传输（或阅读）装置送入数控系统。

#### (5) 程序校验与首件试切

输入到数控系统的加工程序必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接让数控机床空运转，以检查机床的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示的数控机床上，用模拟刀具与工件切削过程的方法进行检验更为方便，但这些方法只能检验运动是否正确，不能检验被加工零件的加工精度。因此，要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时，分析误差产生的原

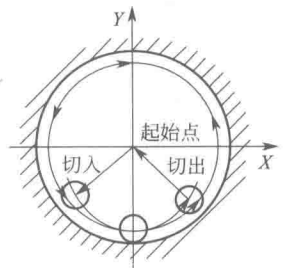


图 1-7 内圆弧铣削路线

因，找出问题所在，加以修正。最后利用检验无误的数控程序进行加工。

### 1.1.2 计算机辅助编程

计算机辅助编程又分为数控语言自动编程（Automatically Programmed Tools, APT）、交互图形编程和 CAD/CAM 集成系统编程等多种，目前制造类企业主要采用 CAD/CAM 系统自动编程。自动编程是用计算机把人工输入的零件图纸信息改写成数控机床能执行的数控加工程序，即数控编程的大部分工作由计算机来完成。

#### (1) CAD/CAM 系统自动编程原理和功能

20 世纪 80 年代以后，随着 CAD/CAM 技术的成熟和计算机图形处理能力的提高，出现了 CAD/CAM 自动编程软件，可以直接利用 CAD 模块生成的几何图形，采用人机交互的实时对话方式，在计算机屏幕上指定零件被加工部位，并输入相应的加工参数，计算机便可自动进行必要的数据处理，编制出数控加工程序，同时在屏幕上动态地显示出刀具的加工轨迹。从而有效地解决了零件几何建模及显示、交互编辑以及刀具轨迹生成和验证等问题，推动了 CAD 和 CAM 向集成化方向发展。

目前比较优秀的 CAD/CAM 功能集成型支撑软件，如 UG、Pro/E、CATIA 等，均提供较强的数控编程能力。这些软件不仅可以通过交互编辑方式进行复杂三维型面的加工编程，还具有较强的后置处理环境。此外还有一些以数控编程为主要应用的 CAD/CAM 支撑软件，如美国的 Master CAM、SurfCAM 以及英国的 Del CAM 等。

CAD/CAM 软件系统中的 CAM 部分有不同的功能模块可供选用，如：二维平面加工、3 轴至 5 轴联动的曲面加工、车削加工、电火花加工（EDM）、钣金加工及线切割加工等。用户可根据实际应用需要选用相应的功能模块。这类软件一般均具有刀具工艺参数设定、刀具轨迹自动生成与编辑、刀位验证、后置处理、动态仿真等基本功能。

#### (2) CAD/CAM 系统编程的基本步骤

不同 CAD/CAM 系统的功能、用户界面有所不同，编程操作也不尽相同。但从总体上讲，其编程的基本原理及基本步骤大体是一致的，如图 1-8 所示。

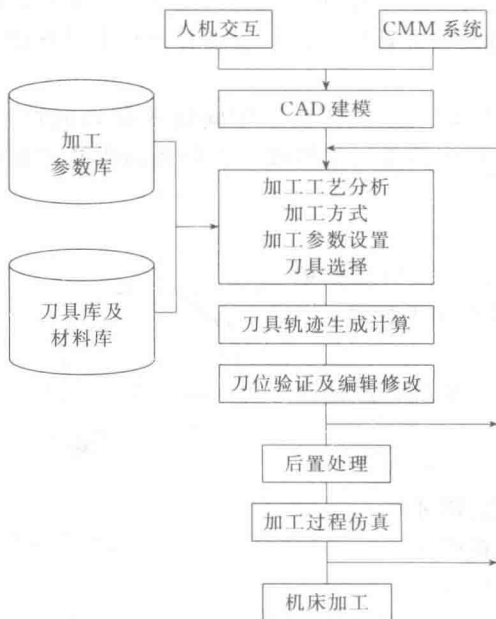


图 1-8 CAD/CAM 系统数控编程原理

① 几何造型。利用 CAD/CAM 系统的几何建模功能，将零件被加工部位的几何图形准确地绘制在计算机屏幕上。同时在计算机内自动形成零件图形的数据文件。也可借助于三坐标测量仪 CMM 或激光扫描仪等工具测量被加工零件的形体表面，通过反求工程将测量的数据处理后送到 CAD 系统进行建模。

② 加工工艺分析。这是数控编程的基础。通过分析零件的加工部位，确定装夹位置、工件坐标系、刀具类型及其几何参数、加工路线及切削工艺参数等。目前该项工作主要仍由编程人员采用人机交互方式输入。

③ 刀具轨迹生成。刀具轨迹的生成是基于屏幕图形以人机交互方式进行的。用户根据屏幕提示通过光标选择相应的图形目标，确定待加工的零件表面及限制边界，输入切削加工的对刀点，选择切入方式和走刀方式。然后软件系统将自动地从图形文件中提取所需的几何

信息,进行分析判断,计算节点数据,自动生成走刀路线,并将其转换为刀具位置数据,存入指定的刀位文件。

④ 刀位验证及刀具轨迹的编辑。对所生成的刀位文件进行加工过程仿真,检查验证走刀路线是否正确合理,是否有碰撞干涉或过切现象,根据需要可对已生成的刀具轨迹进行编辑修改、优化处理,以得到用户满意的、正确的走刀轨迹。

⑤ 后置处理。后置处理的目的是形成具体机床的数控加工文件。由于各机床所使用的数控系统不同,其数控代码及其格式也不尽相同。为此必须通过后置处理,将刀位文件转换成具体数控机床所需的数控加工程序。

⑥ 数控程序的输出。由于自动编程软件在编程过程中可在计算机内部自动生成刀位轨迹文件和数控指令文件,所以生成的数控加工程序可以通过计算机的各种外部设备输出。若数控机床附有标准的 DNC 接口,可由计算机将加工程序直接输送给机床控制系统。

### (3) CAD/CAM 软件系统编程特点

CAD/CAM 系统自动数控编程是一种先进的编程方法,具有以下的特点。

① 将被加工零件的几何建模、刀位计算、图形显示和后置处理等过程集成在一起,有效地解决了编程的数据来源、图形显示、走刀模拟和交互编辑等问题,编程速度快、精度高,弥补了数控语言编程的不足。

② 编程过程是在计算机上直接面向零件几何图形交互进行,不需要用户编制零件加工源程序,用户界面友好,使用简便、直观,便于检查。

③ 有利于实现系统的集成,不仅能够实现产品设计与数控加工编程的集成,还便于工艺过程设计、刀夹量具设计等过程的集成。

## 1.2 数控机床坐标系确定的原则

为了使数控系统规范化(标准化、开放化)及简化数控编程,国际标准化组织 ISO 对数控机床的坐标系作了统一规定,即 ISO 841 标准。我国于 1982 年颁布了 JB 3051—82《数控机床的坐标系和运动方向的命名》标准,对数控机床的坐标和运动方向作了明确规定,该标准与 ISO841 标准等效。

数控机床坐标系一般遵守两个原则,即右手直角笛卡尔坐标(右手规则)的原则和零件固定、刀具运动的原则。

(1) 右手直角笛卡尔坐标(右手规则)的原则

数控机床坐标系位置与机床类型有关。机床坐标轴通常按照右手原则(直角笛卡尔坐标系)确定,如图 1-9 所示:

- 大拇指的方向为 X 轴的正方向;
- 食指为 Y 轴的正方向;
- 中指为 Z 轴正方向。

机床绕坐标轴 X、Y、Z 旋转的运动的旋转轴,分别用 A、B、C 表示,它们的正方向按右手螺旋定则确定。

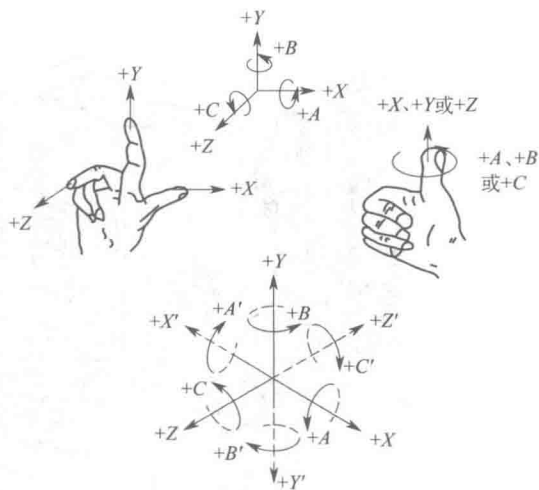


图 1-9 右手直角笛卡尔坐标系

数控机床各坐标轴及其正方向的确定顺序是：

① 先确定 Z 轴。以平行于机床主轴的运动坐标为 Z 轴，Z 轴正方向是使刀具远离工件的方向。如图 1-10 所示。

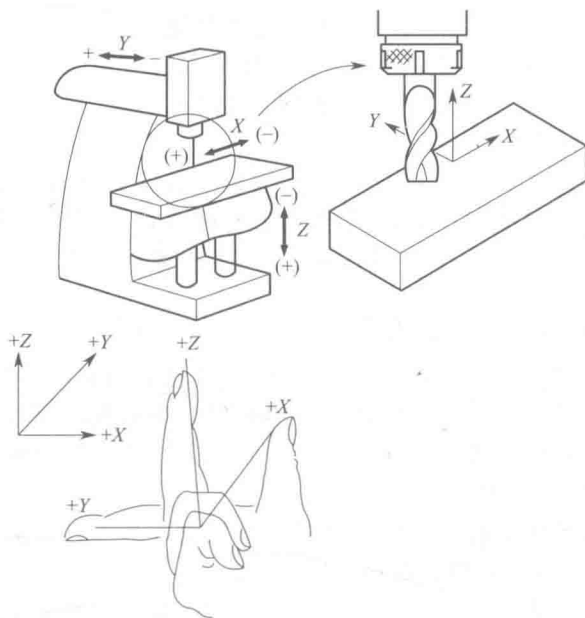


图 1-10 立式数控铣床

② 再确定 X 轴。X 轴为水平方向且垂直于 Z 轴并平行于工件的装夹面。在工件旋转的机床（如车床、外圆磨床）上，X 轴的运动方向是径向的，与横向导轨平行。刀具离开工件旋转中心的方向是正方向。对于刀具旋转的机床，若 Z 轴为水平（如卧式铣床、镗床），则沿刀具主轴后端向工件方向看，右手平伸出方向为 X 轴正向，若 Z 轴为垂直

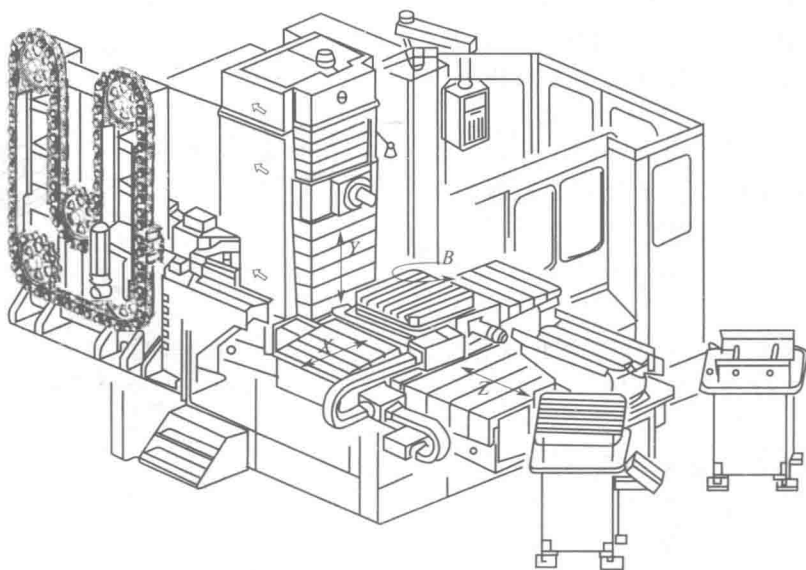


图 1-11 卧式加工中心

(如立式铣、镗床, 钻床), 则从刀具主轴向床身立柱方向看, 右手平伸出方向为  $X$  轴正向。

③ 最后确定  $Y$  轴。在确定了  $X$ 、 $Z$  轴的正方向后, 即可按右手原则定出  $Y$  轴正方向。

④ 附加坐标轴。如果机床除有  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  主要坐标轴以外, 还有平行于它们的坐标轴, 可分别指定为  $U$ 、 $V$ 、 $W$ 。如果还有第三组运动, 则分别指定为  $P$ 、 $Q$ 、 $R$ 。

例: 卧式加工中心主要用来加工箱体类零件, 工作台绕  $B$  轴进行回转, 方便加工箱体的各个侧面, 如图 1-11 所示。

例: 图 1-12 为门式数控铣床, 桁架沿立柱上下移动为附加坐标轴, 对应  $Z$  轴, 桁架上下移动为  $W$  轴。

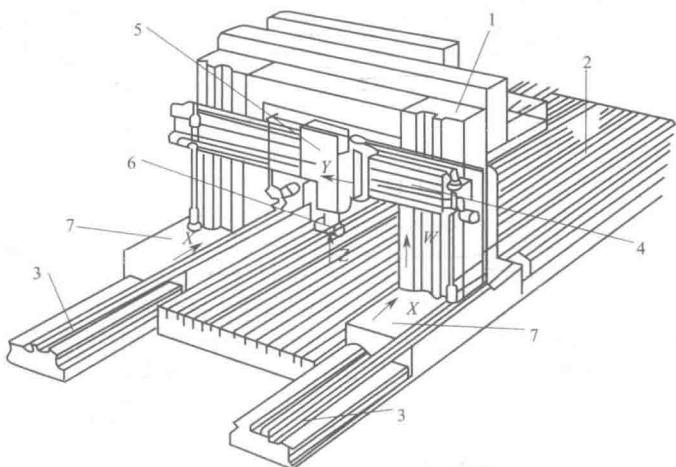


图 1-12 门式数控铣床

1—立柱; 2—工作台; 3—床身; 4—桁架; 5—主轴箱; 6—主轴; 7—导轨

例: 图 1-13 为卧式五轴数控铣床, 主轴绕  $Y$  轴旋转, 为  $B$  轴; 工作台绕  $Z$  轴旋转, 为  $C$  轴。

例: 图 1-14 万能工具磨床, 由两个坐标系组成。

例: 数控车床具有前置刀架和后置刀架之分, 刀架布局在操作者和主轴之间位置, 称为前刀架。刀架布局在操作者和主轴外侧位置, 称为后刀架。传统的普通车床就是前置刀架车床的一个例子。所有斜床身类型车床都属于后置刀架车床。图 1-15 为前置刀架车床坐标系。图 1-16 为后置刀架车床坐标系。

## (2) 零件固定、刀具运动的原则

由于机床的结构不同, 有的是刀具运动, 零件固定; 有的是刀具固定, 零件运动等。为了编程方便, 坐标轴正方向, 均是假定工件不动, 刀具相对于工件作进给运动而确定的方向。实际机床加工时, 如果是刀具相对不动, 工件相对于刀

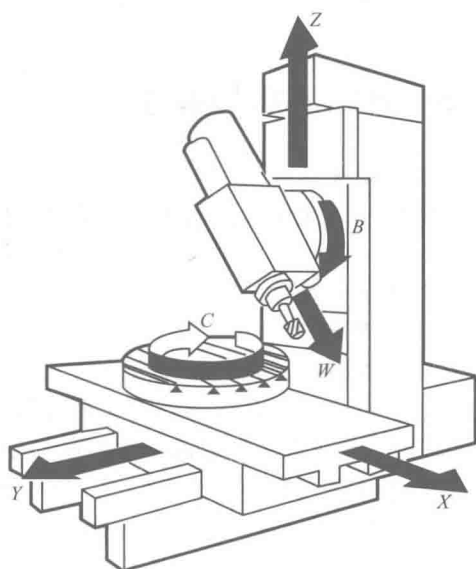


图 1-13 卧式五轴数控机床

具移动实现进给运动的情况。按相对运动关系，工件运动的正方向（机床坐标系的实际正方向）恰好与刀具运动的正方向（工件坐标系的正方向）相反。如图 1-10 所示。

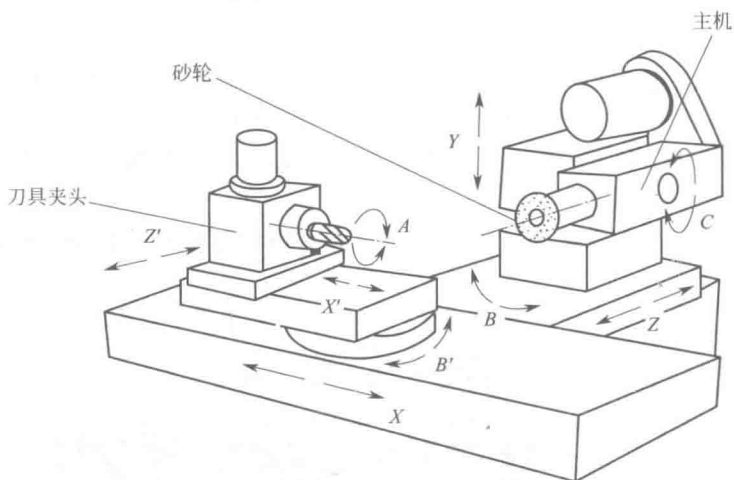


图 1-14 万能工具磨床

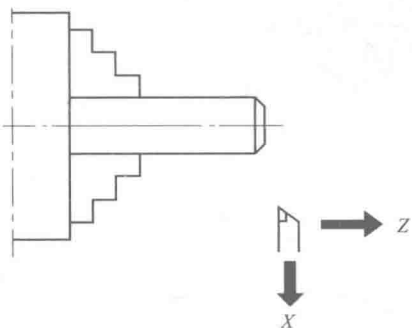


图 1-15 前置刀架车床坐标系

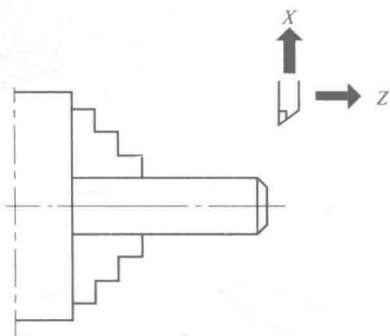


图 1-16 后置刀架车床坐标系

### 1.3 机床原点与参考点

#### (1) 机床原点

机床原点又称为机床零点，该点是机床上一个固定的点，其位置是由机床设计和制造单位确定的，通常不允许用户改变。机床原点是工件坐标系、机床参考点的基准点，也是制造和调整机床的基础。

#### (2) 机床参考点

机床参考点又称机械原点 (R)。是机床上一个特殊的固定点，该点一般位于机床原点的位置，它指机床各运动部件在各自的正向自动退至极限的一个固定点（由限位开关准确定位），到达参考点时所显示的数值则表示参考点与机床零点间的距离，该数值即被记忆在数控系统中并在系统中建立了机床零点，作为系统内运算的基准点。数控铣床在返回参考点（又称“回零”）时，机床坐标显示为零 (X0, Y0, Z0)，则表示该机床零点与参考点是同一个点。

实际上，机床参考点是机床上最具体的一个机械固定点。而机床零点只是系统内的运算

基准点，其处于机床何处无关紧要。每次回零时所显示的数值必须相同，否则加工有误差。

## 1.4 工件坐标系

为了编程不受机床坐标系约束，需要在工件上确定工件坐标系，工件坐标系与机床坐标系的关系，就相当于机床坐标系平移（偏置）到某一点（工件坐标系原点）。如图 1-17 所示，机床坐标系的原点（ $O$ 点）平移到  $O_1$ 点（ $X-400, Y-200, Z-300$ ），即可建立工件坐标系。

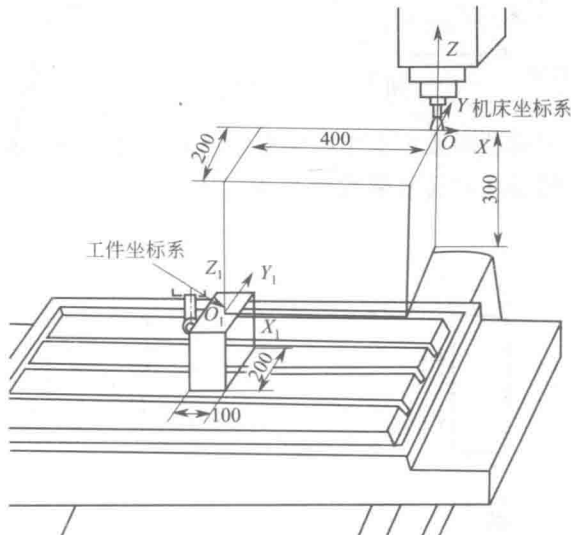


图 1-17 工件坐标系原点的确定

一般来说，机床各轴的实际方向可以根据该轴移动是否由主轴来完成。若由主轴来完成，机床坐标系的实际正方向与工件坐标系的正方向相同。反之，则相反。

例：工作台下  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  向移动的立式数控铣床机床坐标系和工件坐标系的关系（图 1-18），图中  $O_1$  为工件坐标系原点。

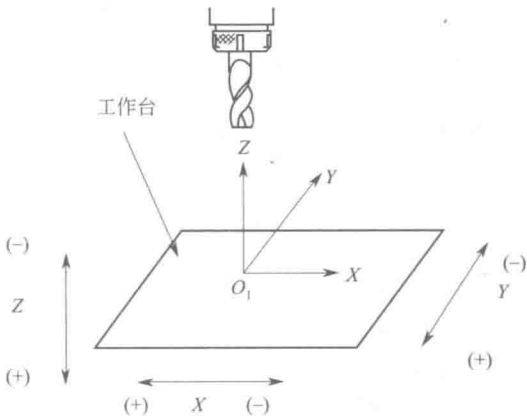


图 1-18 立式数控铣床

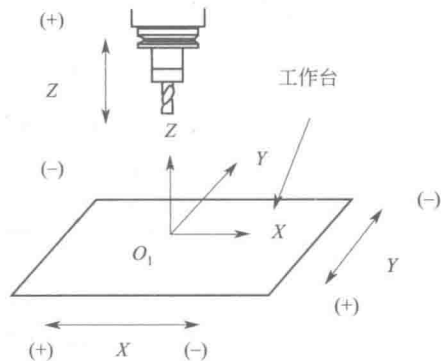


图 1-19 立式数控铣床

例：工作台下  $X$ 、 $Y$  向移动，主轴作  $Z$  向移动的立式数控铣床机床坐标系和工件坐标

系的关系如图 1-19 所示。

例：主轴作 Z、Y 向移动，工作台作 X 向移动的卧式加工中心机床坐标系和工件坐标系的关系如图 1-20 所示。

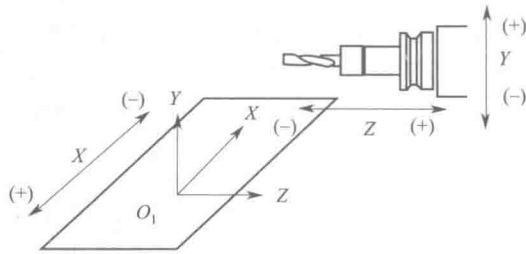


图 1-20 卧式加工中心

例：刀架作 X、Z 向移动的数控车床机床坐标系和工件坐标系的关系如图 1-21 所示。

例：刀架作 X、Z 向移动的前刀架数控车床机床坐标系和工件坐标系的关系如图 1-22 所示。

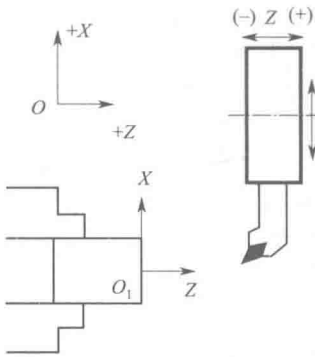


图 1-21 后刀架数控车床

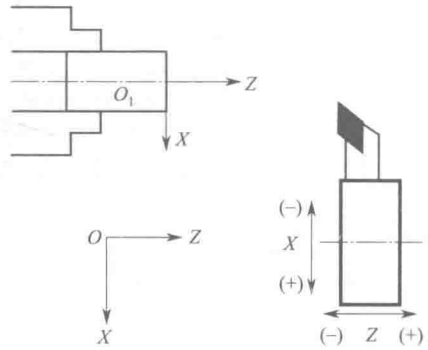


图 1-22 前刀架数控车床

### 思考题与习题

- (1) 比较手工编程和 CAD/CAM 系统编程的异同点。
- (2) 使用 AUTOCAD 软件确定图 1 中的 A、B、C、D、E 基点坐标。

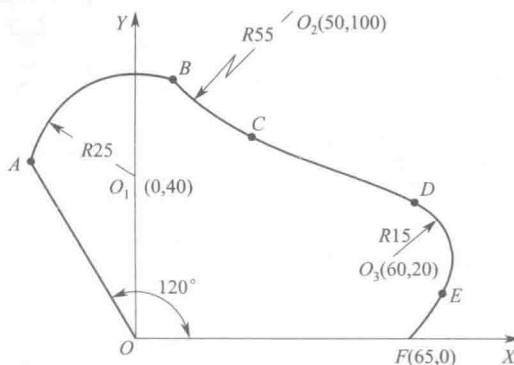


图 1 基点确定



- (3) 请列举 5 种以上 CAD/CAM 自动编程软件。
- (4) 请说明后置处理的作用。
- (5) 数控机床或是工件运动或是刀具运动，是否影响编程人员的编程？为什么？
- (6) 请在图 2、图 3 中确定数控机床的坐标，并将结果标注在图中。

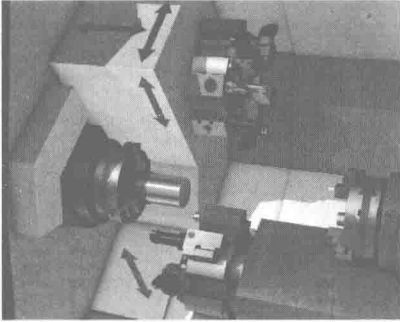


图 2 双主轴车床

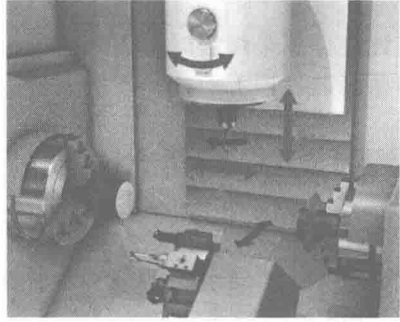


图 3 车铣复合机床