

绍兴文理学院应用型本科教材出版基金资助项目



数控编程与加工实训

NC Programming and Machining Training

编著◎吴福忠 吕森灿

主审◎白忠喜



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

数控编程与加工实训

编著 吴福忠 吕森灿
主审 白忠喜



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内容简介

本书共分六章,着重介绍了常用数控机床加工程序的编制方法及加工仿真与操作方法。第一章为数控编程基础;第二章为数控程序格式及常用指令;第三章为数控编程中的数学基础;第四章为数控车床编程与加工实训;第五章为数控铣床及加工中心编程与加工实训;第六章为数控电火花线切割机床编程与加工实训。

全书从培养应用型人才的角度出发,精心组织教学内容,合理设计知识体系,注重理论联系实际。在数控加工程序编制方面,以基本指令介绍及手工编程为基础,着重以案例形式介绍计算机辅助编程方法,与工程实际结合更加紧密,实用性、可读性更强。在知识体系设计方面,以实用性较强的程序编制、加工仿真、操作实训为核心,强调技术流程的完整性。

本书既可作为本科院校机电类、高等职业技术学院数控技术与应用和机电一体化等专业的教学用书,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工实训 / 吴福忠, 吕森灿编著. —杭州:
浙江大学出版社, 2013.8
ISBN 978-7-308-11913-9

I. ①数… II. ①吴…②吕… III. ①数控机床—程
序设计②数控机床—加工 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 170790 号

数控编程与加工实训

吴福忠 吕森灿 编著

责任编辑 王 波
封面设计 续设计
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州中大图文设计有限公司
印 刷 富阳市育才印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 14.5
字 数 353 千
版 印 次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-11913-9
定 价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxbs.tmall.com>

前 言

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取代。随着我国机械制造业中数控机床使用率的提高,企业对数控机床使用及维护人员的需求不断增加。

本书从培养数控加工技术应用型人才的角度出发,精选教学内容,优化教学流程,注重理论联系实际。在知识体系方面,以实用性较强的程序编制、加工仿真、操作实训为核心,强调技术流程的完整性。在数控加工程序编制方面,以基本指令介绍及手工编程为基础,着重以案例形式介绍计算机辅助编程方法。使教学内容与工程生产实际结合更加紧密,实用性更强。此外,本书将数控加工程序编制与加工仿真及操作实训有机结合,使相关内容特别是一些编程实例衔接更为紧密,可读性更强。

全书共分6章:第1章为数控编程基础;第2章为数控程序格式及常用指令;第3章为数控编程中的数学基础;第4章为数控车床编程与加工实训;第5章为数控铣床及加工中心编程与加工实训;第6章为数控电火花线切割机床编程与加工实训。

本书由吴福忠担任主编,其中第1章、第2章、第3章由吴福忠编写,第4章、第5章、第6章由吴福忠、吕森灿编写。全书由吴福忠统稿,白忠喜主审。

在本书编写过程中,参阅和借鉴了大量已出版的相关资料,在此向这些资料的作者表示诚挚的感谢!

由于编者的水平和经验所限,书中难免有不少欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年2月

参考文献

- [1] 顾京. 数控机床加工程序编制(第4版). 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 聂秋根,陈光明. 数控加工实用技术. 北京:电子工业出版社,2007.
- [3] 钟日铭,李俊华. MasterCAM X3 基础教程. 北京:清华大学出版社,2009.
- [4] 王爱玲. 现代数控编程技术及应用(第2版). 北京:国防工业出版社,2005.
- [5] 朱晓春. 数控技术(第2版). 北京:机械工业出版社,2006.
- [6] 顾京. 数控加工编程及操作. 北京:高等教育出版社,2003.
- [7] FANUC 0i-md 加工中心系统用户手册. 北京:北京数控 FANUC 服务中心,2005.
- [8] HNC21M 世纪星铣削数控装置编程说明书. 武汉:华中数控股份有限公司,2003.
- [9] 王彪. 数控加工技术. 北京:北京大学出版社,2005.
- [10] 田春霞. 数控加工工艺. 北京:机械工业出版社,2006.
- [11] 赵玉刚. 数控技术. 北京:机械工业出版社,2003.

目 录

第 1 章 数控编程基础	1
1.1 数控编程的基本概念	1
1.2 数控机床坐标系	7
1.3 数控加工工艺	10
1.4 数控加工常用刀具及对刀方法	12
第 2 章 数控程序格式及常用指令	17
2.1 数控程序格式	17
2.2 常用编程指令	19
第 3 章 数控编程中的数学基础	31
3.1 加工对象表达的常用数学模型	31
3.2 插补计算方法	36
3.3 常用的数值计算方法	40
第 4 章 数控车床编程与加工实训	47
4.1 编程基础	47
4.2 基本编程指令	48
4.3 固定循环指令	54
4.4 手工编程综合实例	69
4.5 基于 MasterCAM 的程序编制	74
4.6 基于 CNC Partner 的加工仿真	103
4.7 加工实训	109
第 5 章 数控铣床及加工中心编程与加工实训	119
5.1 编程基础	119
5.2 基本编程指令	122
5.3 固定循环指令	128

5.4	编程实例	133
5.5	基于 MasterCAM 的程序编制	138
5.6	基于 CNC Partner 的加工仿真	173
5.7	加工实训	182
第 6 章	数控电火花线切割机床编程与加工实训	192
6.1	编程基础	192
6.2	3B 指令编程	198
6.3	ISO 指令编程	203
6.4	基于 CAXA 的程序编制	206
6.5	基于 MasterCAM 的程序编制	209
6.6	加工实训	214
参考文献		223

第 1 章 数控编程基础

本章学习目标

1. 了解数控程序的基本概念以及编程步骤与方法；
2. 掌握常用数控机床坐标系设置的相关规定及工件坐标系的设置方法；
3. 了解数控加工工艺的特点，掌握数控加工专用技术文件的编写方法；
4. 了解数控加工中常用的刀具及简易对刀方法。

1.1 数控编程的基本概念

数控机床是指采用数控技术进行控制的机床，也被称为数字控制机床(Numerically Controlled Machine Tool)、NC 机床或 CNC 机床，是为了满足单件、小批量、多品种零件自动化生产的需要而研制的一种灵活、通用的柔性自动化机床。数控机床的自动化加工过程是由其控制系统根据用户输入的程序指令，指挥机床的硬件系统来实现的。因此，使用数控机床加工零件前，必须编制合理的加工程序。

1.1.1 数控编程的定义

数控加工程序编制(简称数控编程)是指根据零件图纸与工艺方案要求，将零件加工的工艺过程、工艺参数、刀具位移量数据(运动方向和坐标值)以及其他辅助动作(如主轴启停、正反转、冷却液泵开关、刀具夹紧等)，根据执行顺序和所用数控系统规定的指令代码及程序格式编制加工程序单的过程。

程序实例如下：

```
O0001
N10 G92 X80.0 Y-30.0 Z30.0
N20 G00 G90 X40.0 S1200 M03 M08
N30 Z-2.0
N40 G01 G42 X20.0 Y-20.0 H01 F60.0
N50 Y0.0
N60 G03 X-20.0 R20.0
```



```
N70 G01 Y-30.0  
N80 G03 X41.09 Y-53.33 R35.0  
N90 X35.12 Y-40.0 R8.0  
N100 G01 X15.0  
N110 G02 X15.0 Y20.0 R10.0  
N120 G01 X30.0  
N130 G40 G00 X80.0 Y-30.0  
N140 Z30.0 M09  
N150 M30
```

1.1.2 数控编程的步骤

从数控编程的定义可以看出,数控程序编制主要进行以下几个方面的工作:

(1) 分析零件图纸

对零件图纸进行分析,明确零件的材料、加工精度、形状特征、尺寸大小以及热处理要求等信息。根据零件图纸的要求,确定零件的加工方案,主要包括选择适合在数控机床上加工的工艺内容以及选择所用数控机床的类型等。

(2) 制定工艺方案

根据零件图纸信息以及选择的数控机床类型,确定零件的加工方法、定位夹紧方法、刀具和夹具、走刀路线、切削参数等工艺过程。

(3) 数值计算

在确定了工艺方案后,就可以根据零件形状和走刀路线确定工件坐标系,计算出零件轮廓上相邻几何元素的交点或切点坐标值。目前数控机床的控制系统一般都具有直线和圆弧插补功能以及刀具半径补偿功能。因此对于由直线和圆弧组成的较简单的平面类零件,只要计算出相邻元素间的交点或切点坐标值,得到各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标等信息,就能满足数控编程的要求。对于几何形状与控制系统插补功能不一致的零件,就需要进行较复杂的数值计算,一般需要使用计算机辅助设计软件来完成。

(4) 编制程序

在制定工艺方案并完成数值计算后,即可编写零件的加工程序。根据计算出的运动轨迹坐标和已确定的运动顺序、刀具、切削参数等信息,编程人员可使用所用数控系统规定的指令代码及程序格式,来完成加工程序的编制。编程人员要想正确地编制数控加工程序,必须对数控系统的指令代码和程序格式非常熟悉。

(5) 程序输入

在完成程序编制后,需要将加工程序输入到数控装置中。输入的方法主要有:直接利用数控装置的键盘输入、利用磁盘输入、通过 RS232 端口输入等。

(6) 程序检验和首件试切

编制好的数控程序在首次加工之前,一般都需要通过一定的方法进行检验。否则,如果编写的程序不合理或者有明显的错误,将会造成加工零件的报废或者出现安全事故。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是否正确。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,对程序进行检验。如果采用计算机编程辅助软件编写加工程序,则可以在编程软件中进行走刀轨迹的模拟。上述方法只能检验走刀轨迹的正确性,而不能检查由于刀具调整不当或切削参数不合理等因素造成的工件加工误差的大小。因此,必须用首件试切的方法进行实际切削检查。这样不仅能检查出程序编制中的错误,还可以检验零件的加工精度。

程序编制的一般步骤如图 1.1 所示。

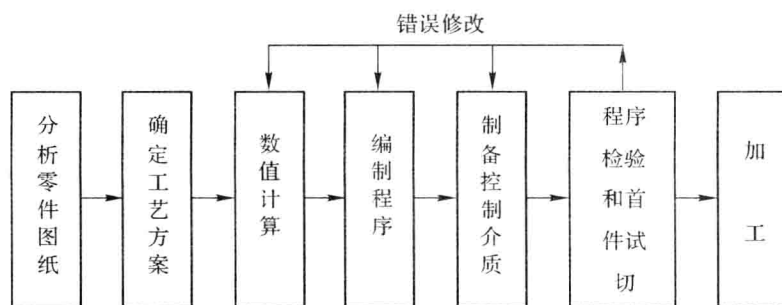


图 1.1 数控加工程序编制的一般步骤

1.1.3 数控程序的编制方法

数控程序编制的方法主要包括手工编制数控加工程序和计算机辅助编制数控加工程序。

手工编程方法主要适用于几何形状不太复杂、程序较短,且计算比较简单的零件加工程序编制。手工编制数控加工程序的一般过程如图 1.2 所示。

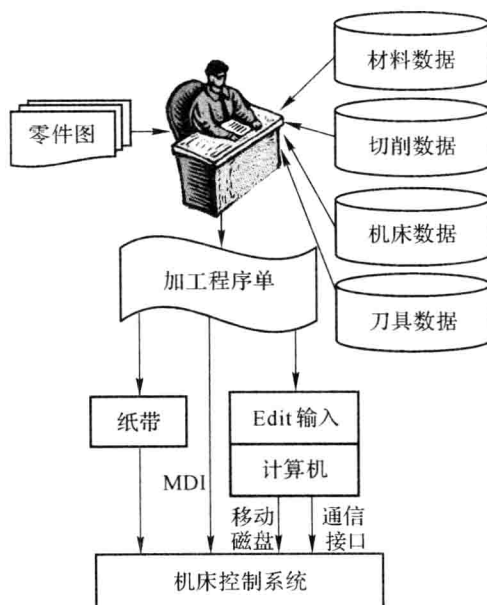


图 1.2 手工编制数控加工程序过程

计算机辅助编程方法主要适用于几何形状较复杂、程序较长、计算较复杂的零件加工程序编制。计算机辅助编制数控加工程序的一般过程如图 1.3 所示。

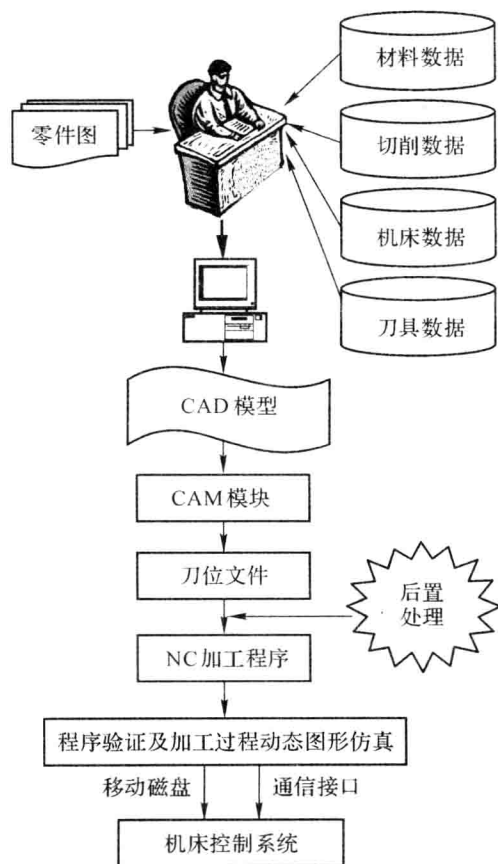


图 1.3 计算机辅助编制数控加工程序过程

【例 1.1】 欲用数控铣床加工某快餐盒凹模表面,用 MasterCAM 软件进行计算机辅助编程的过程如图 1.4 至 1.10 所示。

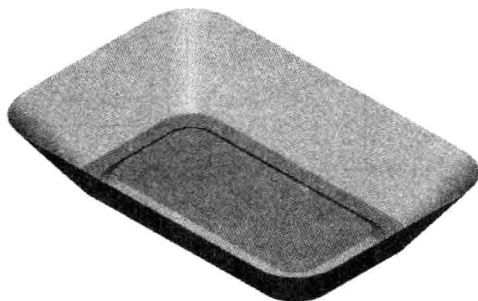


图 1.4 三维造型

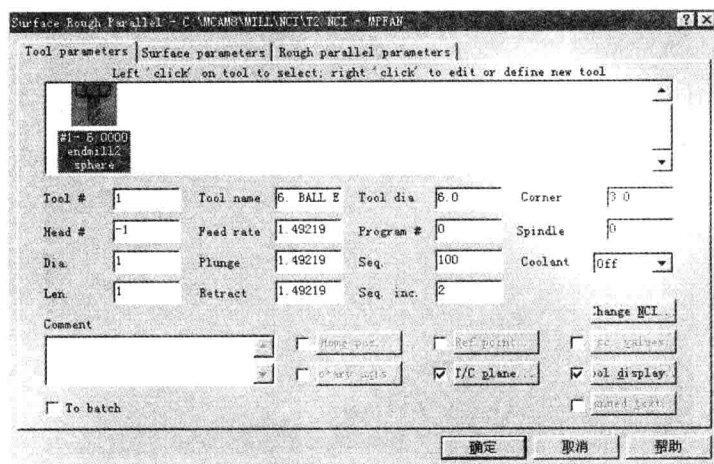


图 1.5 设置刀具参数

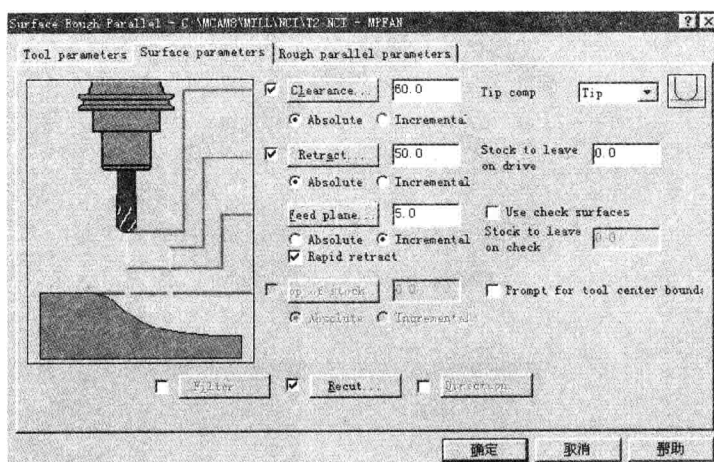


图 1.6 设置曲面加工基本参数

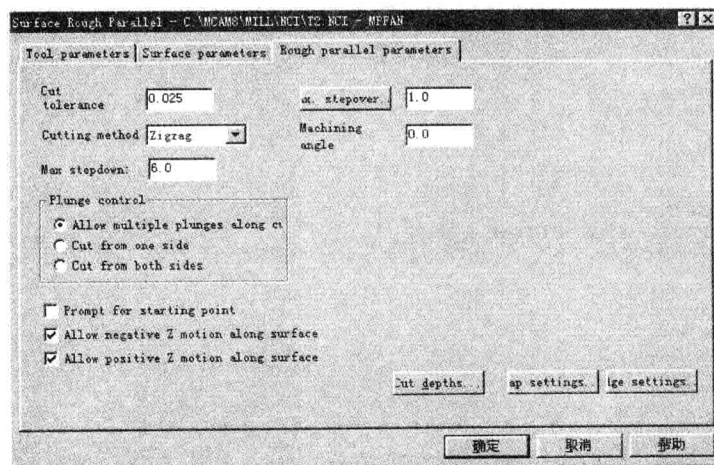


图 1.7 设置粗加工参数

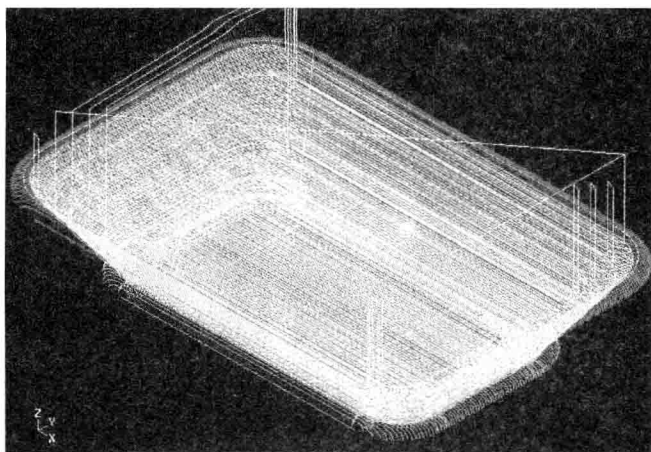


图 1.8 生成刀具路径

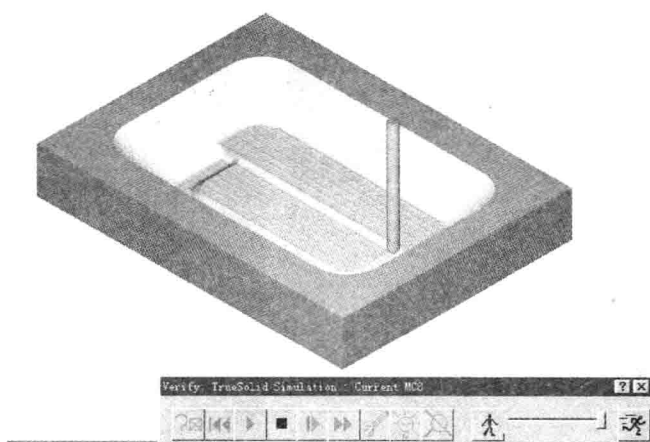


图 1.9 刀具路径模拟

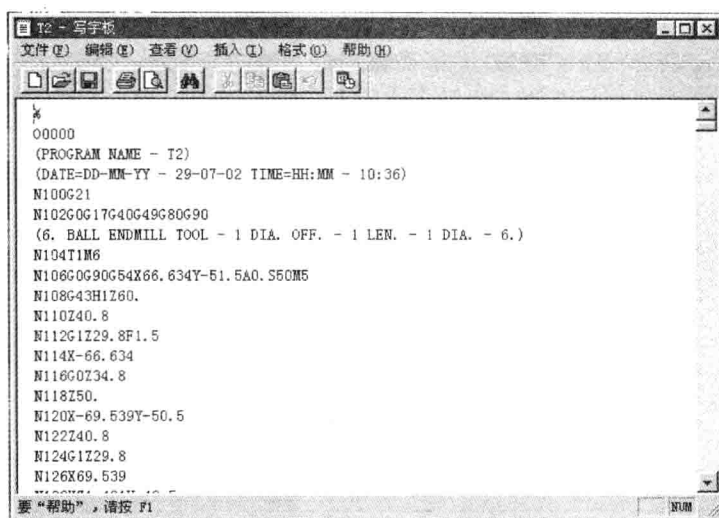


图 1.10 后置处理

1.2 数控机床坐标系

1.2.1 机床坐标系

为了确定数控机床进给系统的运动方向和运动距离,需要在机床上建立一个坐标系,这个坐标系被称作机床坐标系。数控机床上的标准坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系。各坐标轴之间的关系如图 1.11 所示。

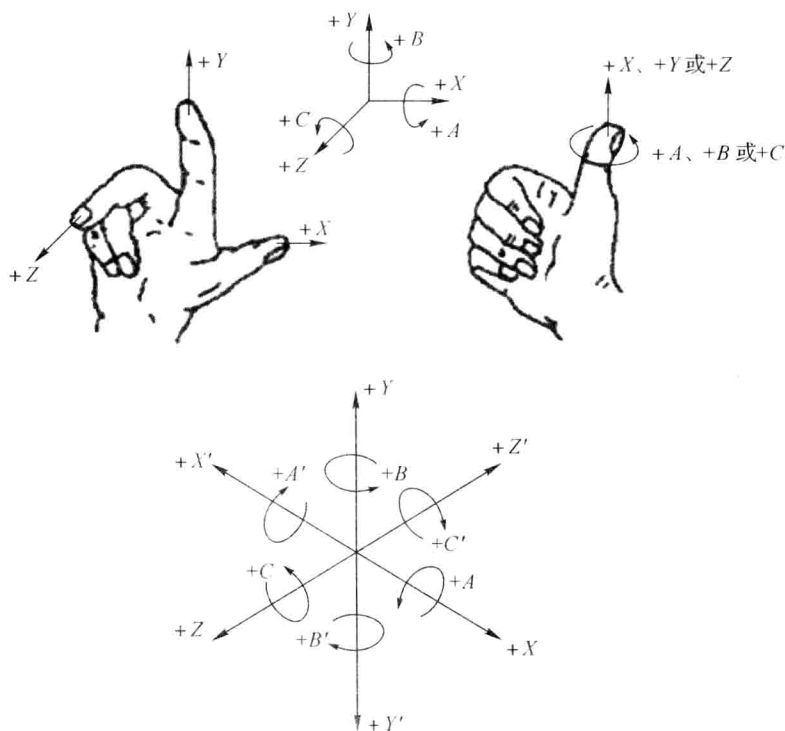


图 1.11 右手直角笛卡儿坐标系

1.2.2 关于机床坐标系的两个规定

(1) 刀具与工件相对运动的规定

在数控机床上,不论实际加工中是刀具运动还是工件运动,在编制数控程序时,总是认为刀具运动、工件静止,即采用刀具相对于工件运动的原则。

(2) 坐标轴正方向的规定

增大工件与刀具之间距离的方向为坐标轴正方向,即刀具离开工件的方向为正方向。

1.2.3 坐标轴方向的确定

Z 坐标的运动方向由传递切削动力的主轴确定,与主轴轴线平行的坐标轴为 Z 轴,其正方向为刀具离开工件的方向,X、Y 坐标可根据不同的机床结构具体确定。

旋转运动 A、B、C 相应地表示绕 X、Y、Z 轴的旋转运动,其正方向按照右手螺旋法则确定。不同类型机床的坐标方向如图 1.12~1.15 所示。

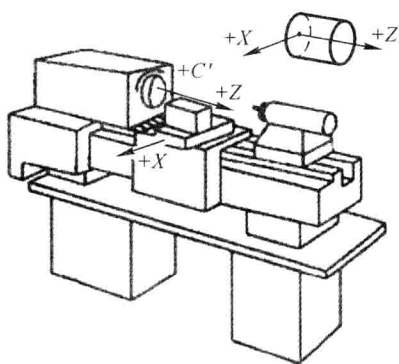


图 1.12 卧式车床

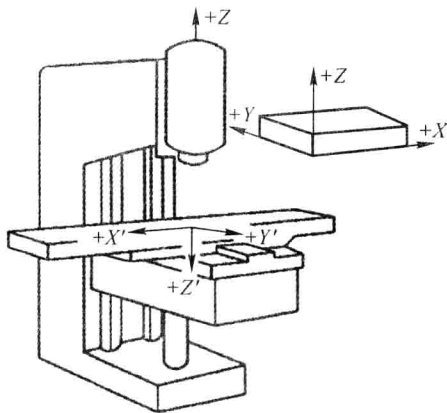


图 1.13 立式升降台铣床

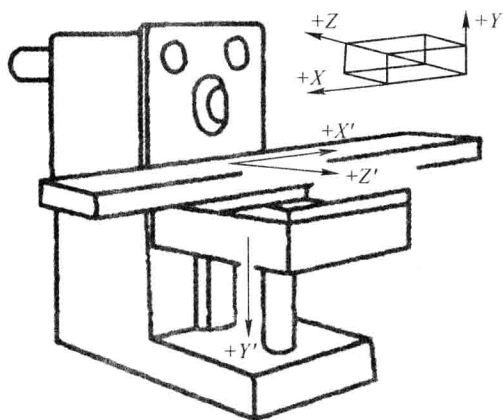


图 1.14 卧式升降台铣床

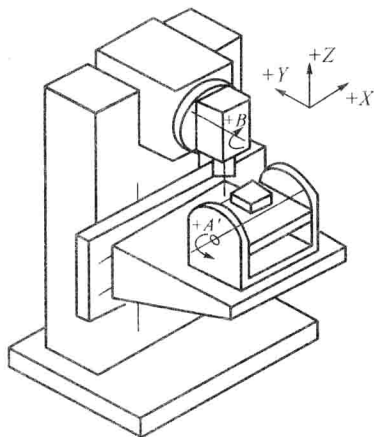


图 1.15 五轴联动数控铣床

1.2.4 机床原点及参考点

机床原点即机床坐标系原点,是数控机床上设置的一个固定点。它在机床制造完成后就已被确定下来,是数控机床加工运动时进行定位的基准点。对于数控车床,机床原点一般设置在卡盘端面与主轴中心线的交点处。对于数控铣床,机床原点一般设置在 X、Y、Z 坐标正方向的极限位置上。

机床参考点是机床上的一个固定点,用于对机床的运动进行检测和控制。机床参考点的位置由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确设置,它在机床坐标系中的坐标值已被输入数控系统中,故参考点相对于机床原点的位置为已知数。参考点的位置可通过调整限位开关位置的方法改变。对于数控车床,参考点一般位于离开机床原点最远的极限位置,如图 1.16 所示。对于数控铣床,机床原点一般和参考点重合,如图 1.17 所示。

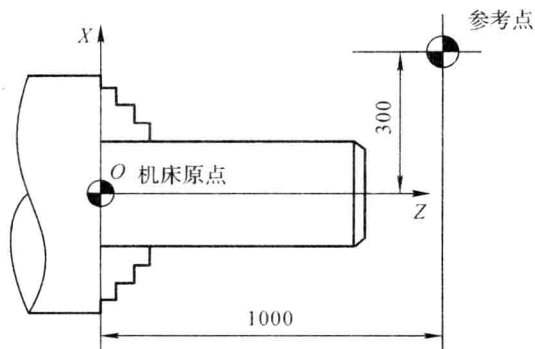


图 1.16 数控车床坐标系

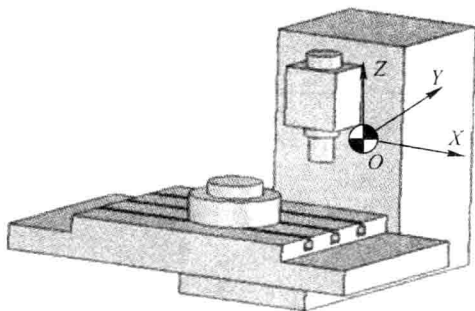


图 1.17 数控铣床坐标系

数控机床开机时,必须首先手动返回参考点,这样通过返回参考点就确定了机床原点的位置即建立了机床坐标系。只有机床参考点被确认后,刀具(或工作台)移动才有基准。

1.2.5 工件坐标系

工件坐标系即编程坐标系,是编程人员根据零件图样及加工工艺而建立的坐标系,用于确定零件几何图形上各几何要素(点、直线、圆弧等)的位置。如图 1.18、1.19 所示, $O_1 X_1 Y_1$ 、 $O_1 X_1 Z_1$ 即为工件坐标系。

当工件装夹在机床工作台(或卡盘)上时,工件坐标系的坐标轴与机床坐标系的相应坐标轴互相平行,但原点位置一般并不相同,即工件坐标系可以认为是将机床坐标系进行平移变换的结果。

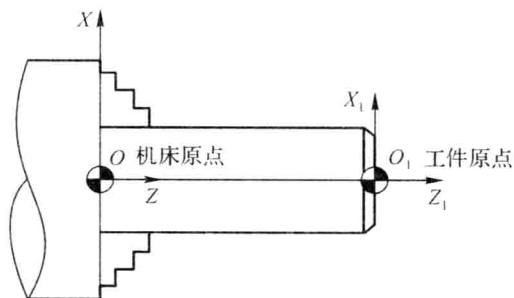


图 1.18 数控车床工件坐标系

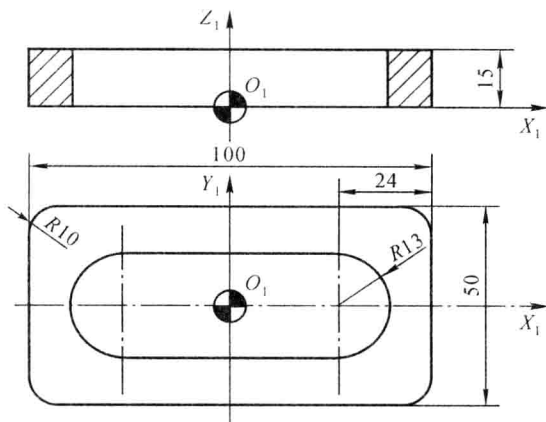


图 1.19 数控铣床工件坐标系

1.3 数控加工工艺

数控机床的加工工艺与通用机床的加工工艺有许多相同之处,但在数控机床上加工零件比在通用机床上加工零件的工艺规程要复杂。在数控加工前,要将机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和走刀路线等编入程序。由此可见,数控加工工艺与普通机床加工工艺相比,具有如下特点:

(1)数控加工的工序内容比普通机床的工序内容复杂。在数控机床上加工的零件形状一般比在普通机床上加工的零件形状复杂,因此相应的工序内容也比较复杂。

(2)数控机床加工程序的编制比普通机床工艺规程的编制复杂。因为在普通机床的加工工艺中不必考虑的内容,如走刀路线的确定,对刀点以及换刀点的确定等问题,在编制数控加工工艺时却必须考虑。

1.3.1 数控加工工艺内容及其选择方法

根据实际应用需要,数控加工工艺分析主要包括以下内容:

- (1)选择适合在数控机床上加工的内容。
- (2)对零件图样进行数控加工工艺分析,明确加工内容及技术要求。
- (3)具体设计数控加工工序,如工步的划分、工件的定位与夹具的选择、刀具的选择、切