

国家职业教育改革发展示范院校规划教材

数控铣削编程与 操作加工实训

主 编 谷子平 马 喆



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

国家职业教育改革发展示范院校规划教材

数控铣削编程与 操作加工实训

主 编 谷子平 马 喆



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是劳动预备制数控加工类专业技能课教材，参照企业生产实际岗位要求和相应的国家标准编写而成。本书以 FANUC 系统为例，以典型机械零件数控加工过程所涉及的基础知识与操作技能为主线，由易到难，逐步深入地介绍数控铣削操作编程及相关知识。本书共设有 10 个部分，主要内容包括数控铣削的基本知识、华中数控系统数控铣床的基本操作、平面轮廓的铣削加工、孔类工件及子程序的应用、宏程序的应用、CAXA 制造工程师自动编程加工实例、数控铣削加工仿真、钳工基础知识、综合训练、机械识图，适合中职机电、数控类专业使用。

图书在版编目（C I P）数据

数控铣削编程与操作加工实训 / 谷子平，马喆主编
— 北京：中国水利水电出版社，2015.8
国家职业教育改革发展示范院校规划教材
ISBN 978-7-5170-3529-9

I. ①数… II. ①谷… ②马… III. ①数控机床—铣床—程序设计—高等职业教育—教材②数控机床—铣床—金属切削—高等职业教育—教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第190657号

书 名	国家职业教育改革发展示范院校规划教材 数控铣削编程与操作加工实训
作 者	主编 谷子平 马喆
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京美精达印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.25 印张 362 千字
版 次	2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	34.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编 委 会 名 单

主 编：谷子平 马 喆

副主编：翟 磊 杨海亮 李效利 蒋丽丽

柴向峰 高 帆 毕宪东 李仲立

李 季 李东春

编 委：元玉祥 王付军 袁长有 朱 强

程素瑜 袁 红 肖彦臣 马翊钧

王 巍

前言

本书是根据教育部数控技能型紧缺人才的培训方案的指导思想和数控铣削的国家职业技能鉴定标准,结合长期教学改革实践编写的。采用“项目引领,任务驱动,一体化教学”教学模式,充分体现以全面素质为基础,以能力为本位,以满足学生需求和社会需求为目标的编写指导思想。在编写中,力求突出以下特色。

(1) 结合中等职业学校教学实际,坚持“必须、够用”原则,降低了理论难度,编写中始终坚持“以就业为导向,以能力为本位”的理念,切实贯彻学生“于做中学”的指导方针,将理论与实践有机结合,使“做”“学”“教”统一于项目的进程。

(2) 通过项目的学习,使学生掌握相关指令的用法和熟练数控铣床的操作技能;在操作的过程中,培养学生分析加工工艺的能力和编写技术文件的能力,以及爱岗敬业、团结协作的精神。

(3) 教学适用性强,版面设计活泼、新颖。每个项目有明确的学习目标,通过若干课题采用小任务的形式围绕实践技能开展教学,并设计有多样化小栏目。通过测评对项目有效总结,附有思考练习,难度适中,便于教学。项目实用性强、重点突出、图文并茂、通俗易懂,通过项目拓展知识,使学生能举一反三、触类旁通、适应不同系统数控机床的岗位需求。

本书共设有10个部分,主要内容包括数控铣削的基本知识、华中数控系统数控铣床的基本操作、平面轮廓的铣削加工、孔类工件及子程序的应用、宏程序的应用、CAXA制造工程师自动编程加工实例、数控铣削加工仿真、钳工基础知识、综合训练、机械识图,由浅入深,由易到难,使学生掌握数控铣削技术要点,使学生易于接受。

本书由谷子平、马喆主编,翟磊、杨海亮、李效利、蒋丽丽、柴向峰、高帆、毕宪东、李仲立、李季、李东春为副主编。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评与指正。

编者

2015年4月

目 录

前言

项目一 数控铣削的基本知识	1
任务一 认识数控铣床	1
任务二 根据零件选择刀具、量具和夹具	3
任务三 坐标系统	4
任务四 铣削知识	9
项目二 华中数控系统数控铣床的基本操作	24
任务一 华中数控系统简介	24
任务二 数控铣床的基本操作	28
任务三 数控铣床的对刀	33
项目三 平面轮廓的铣削加工	37
任务一 平面零件的铣削加工	38
任务二 外轮廓零件加工（凸台）	43
任务三 内轮廓零件的加工	47
任务四 型腔零件的加工	53
项目四 孔类工件及子程序的应用	80
任务一 固定循环指令格式及子程序应用	81
任务二 钻（铣）孔加工实例	91
任务三 孔系零件实例	94
项目五 宏程序的应用	99
任务一 学习编程基础知识	100
任务二 项目实施	109
任务三 项目实训	113
项目六 CAXA 制造工程师自动编程加工实例	118
任务一 认识 CAXA 制造工程师 2008	118
任务二 实体造型	127
任务三 实体造型综合训练	133
项目七 数控铣削加工仿真	141
任务一 机床仿真软件的操作	142
任务二 FANUC 数控铣床加工实例	147

项目八 钳工基础知识	158
任务一 划线	158
任务二 锯削	162
任务三 锉削	164
任务四 孔加工	167
任务五 螺纹加工	172
项目九 综合训练	188
任务一 确定加工方案	188
任务二 掌握操作要点	189
任务三 编制参考程序	191
任务四 仿真加工	193
任务五 中级实训评分(一)	195
任务六 确定加工方案	196
任务七 加工准备	198
任务八 编制参考程序	198
任务九 中级实训评分(二)	201
任务十 确定加工方案	202
任务十一 加工准备	204
任务十二 编制参考程序	204
任务十三 中级实训评分(三)	206
项目十 机械识图	208
任务一 组合体的认识	208
任务二 视图	212
任务三 剖视图	214
任务四 断面图	217
任务五 零件图	218
任务六 零件图的技术要求	220

项目一 数控铣削的基本知识

【情境创设】

数控铣床用程序实现对铣床的控制，它能够自动完成圆柱面、圆锥面、圆弧面、槽、螺纹和孔等各种表面的加工，如图 1-1 所示。要使数控铣床正确实现自动切削工件，无论是编程员还是操作员，都必须要了解数控铣床的基本结构、熟悉数控铣床的基本功能；作为编程员，还要能够根据图纸及毛坯，确定加工工艺、选择刀具和相应的切削用量、编写加工技术文件等。

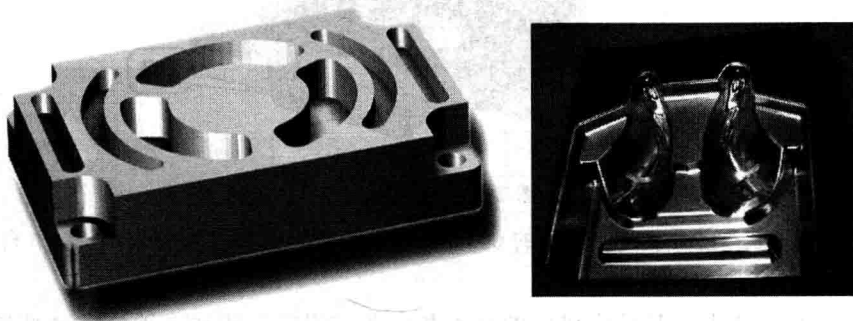


图 1-1 数控铣削加工的工件

【学习目标】

学习目标		学习方式	学时
技能目标	了解机床结构、面板功能，掌握对刀方法	操作机床	10
知识目标	1. 了解数控铣床的主要结构、各个部件的功能和数控铣床的型号 2. 通过一种数控系统的学习，掌握数控铣床的操作要点 3. 能够分析加工工艺，确定加工步骤，选择加工参数，编写加工技术文件 4. 理解机床坐标系和工件坐标系	教师讲授理论 多媒体演示	6

【基本技能】

任务一 认识数控铣床

一、熟悉数控铣床的硬件结构

1. 数控铣床的结构

数控铣床一般由主机、控制部分、驱动装置、辅助装置、控制面板、防护等几大部分组成，以 XK714B 数控铣床为例，如图 1-2 所示。

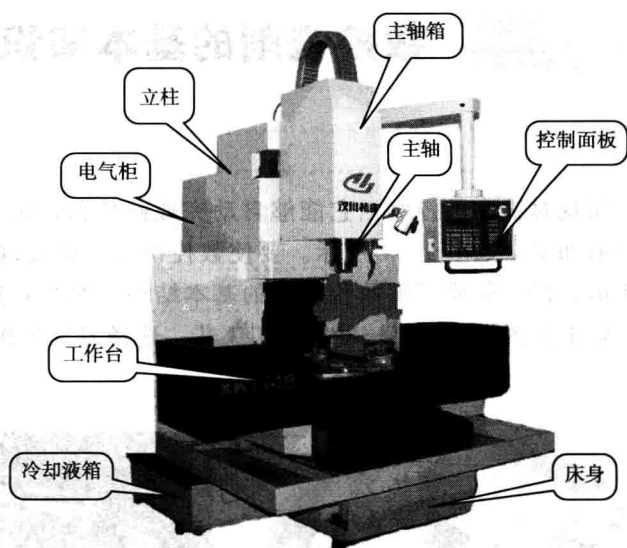


图 1-2 铣床的组成

(1) 铣床主机。它是数控铣床的机械部件，包括床身、主轴箱、工作台和进给机构等。

床身固定在底座上，是整个机床的基础和框架，用于安装与支承机床各部件。主轴箱包括主轴箱体和主轴传动系统，用于装夹刀具并带动刀具旋转。

(2) 控制部分（CNC 装置）。它是数控铣床运动的控制核心，执行数控加工程序控制机床进行加工。

(3) 驱动装置。它是数控铣床执行机构的驱动部件，包括主轴电动机、进给伺服电动机及进给执行机构组等，其中后者按照程序设定的进给速度实现刀具和工件之间的相对运动（包括直线进给运动和旋转运动）。

(4) 辅助装置。如液压、气动、润滑、冷却系统和排屑等。

(5) 控制面板（操纵台）。上有 CRT 显示器、机床操作按钮和各种开关及指示灯。

2. 数控铣床的工作原理

数控机床的工作过程是：数控程序可以通过操作面板上的 MDI 键盘，用手动方式直接输入，还可以利用 CAD/CAM 软件在计算机上进行自动编程，然后通过机床与计算机直接通信的方式将程序传送到数控装置，如图 1-3 所示。

数控装置发出脉冲信号控制进给伺服电动机转动，纵向工作台、横向溜板安装在升降台上，通过纵向进给伺服电动机、横向进给伺服电动机和垂直升降进给伺服电动机的驱动，完成 X、Y、Z 坐标进给运动，同时数控装置控制主轴电动机旋转完成主切削运动。

二、认识华中数控标准铣床面板

华中数控标准铣床面板见图 1-4。

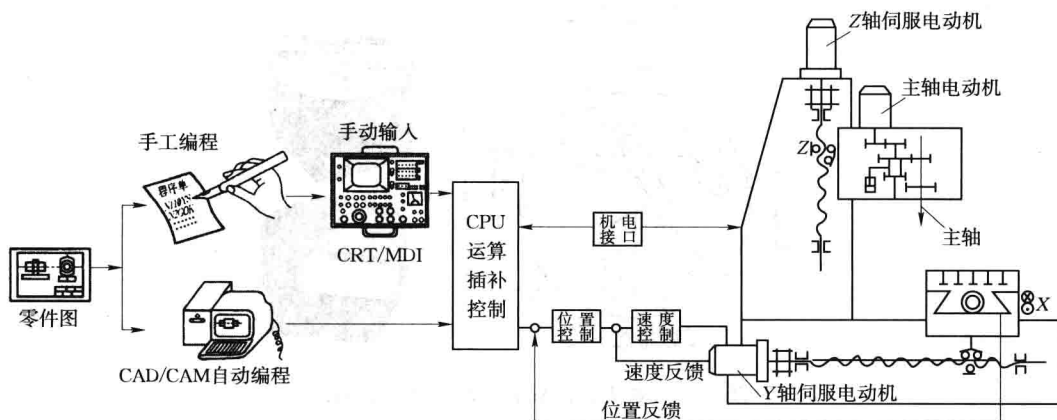


图 1-3 铣床工作原理框图

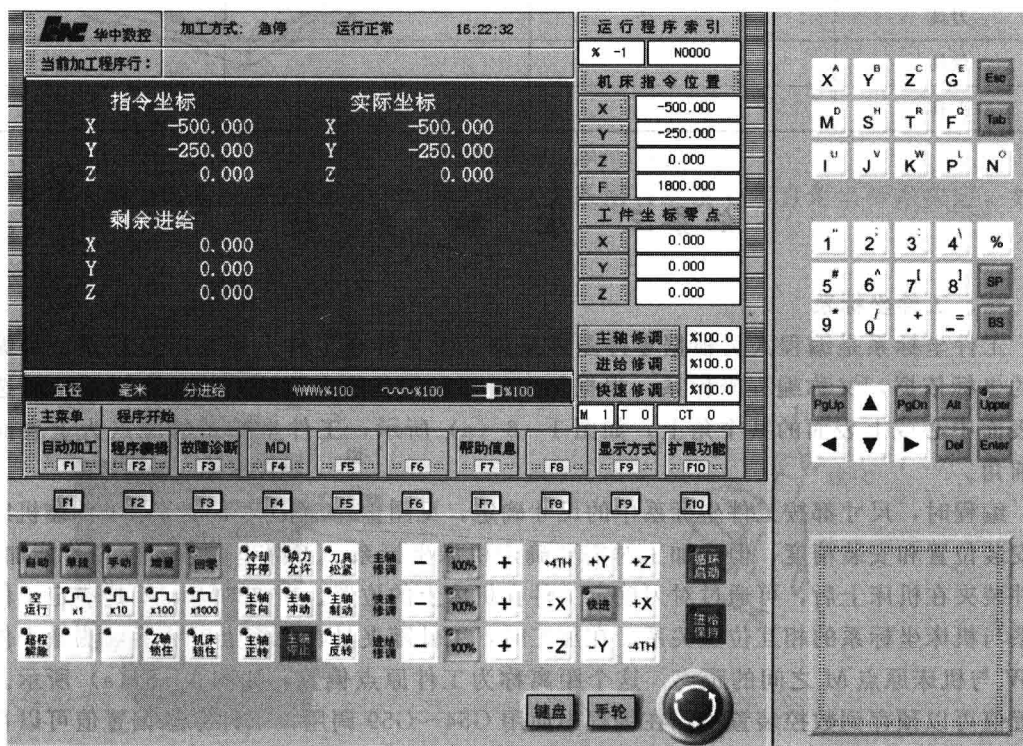


图 1-4 华中数控标准铣床面板

任务二 根据零件选择刀具、量具和夹具

如图 1-5 所示为在圆形毛坯上铣出铁人运动标志沟槽，深度 5mm，毛坯材料为 $\phi 80$ PVC 塑料棒。根据加工零件图形，选择刀具、量具和夹具，填入表 1-1 中。

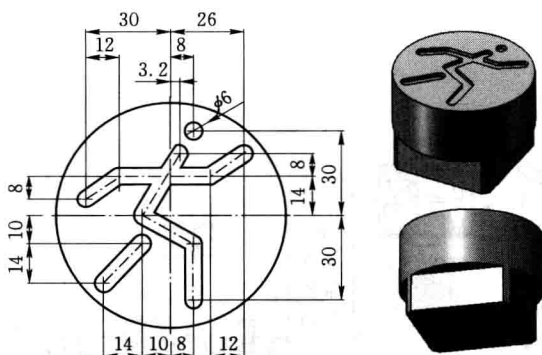


图 1-5 铁人运动标志练习 (单位: mm)

表 1-1

工具单列表

项 目	名 称	规 格	备 注
刀具			
量具			
夹具			

任务三 坐 标 系 统

一、工件坐标系

工件坐标系是编程人员根据零件图样及加工工艺等在工件上建立的坐标系,是编程时的坐标依据,又称编程坐标系。根据加工需要和编程的方便性,工件坐标系一般选在上表面中心或上表面的某个角上,如图 1-6(a)所示,工件坐标系的原点为上表面的左前角。

编程时，尺寸都按工件坐标系中的尺寸确定，见图 1-6 (b)，不必考虑工件在机床上的安装位置和安装精度，但在加工时需要确定机床坐标系、工件坐标系的位置才能加工。工件装夹在机床上后，可通过对刀确定工件在机床上的位置。所谓对刀，就是确定工件坐标系与机床坐标系的相互位置关系。在加工时，工件随夹具在机床上安装后，测量工件原点 W 与机床原点 M 之间的距离，这个距离称为工件原点偏置，如图 1-6 (a) 所示。该偏置值可以预存到数控装置中，在编程中使用 G54~G59 调用，工件原点偏置值可以自动加到机床坐标系上，数控系统可按机床坐标系确定加工时的坐标值。

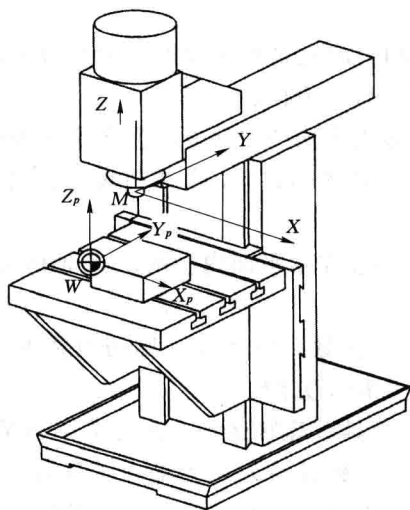
1. 数控铣床坐标系的确定

(1) 数控铣床相对运动的规定。在数控铣床上,我们始终认为工件静止,而刀具是运动的。这样编程人员在不考虑机床上工件与刀具运动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床的加工过程。

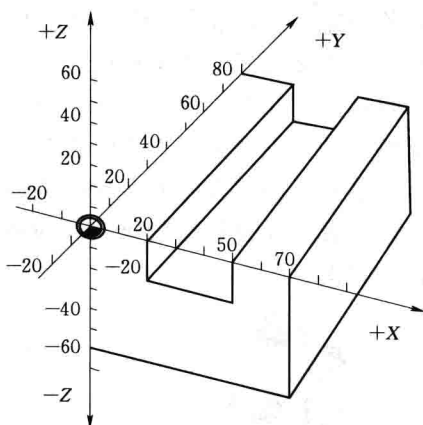
(2) 数控铣床坐标系的规定。标准机床坐标系中 X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡尔直角坐标系确定。

数控铣床的纵向运动、横向运动以及垂向运动（图 1-7），是由数控装置来控制的，

为了确定数控铣床上的成形运动和辅助运动,必须先确定机床上运动的位移和运动的方向,这就需要通过坐标系来实现,这个坐标系被称之为机床坐标系。



(a)



(b)

图 1-6 工件坐标系 (单位: mm)

标准机床坐标系中 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡尔直角坐标系决定,如图 1-8 所示。

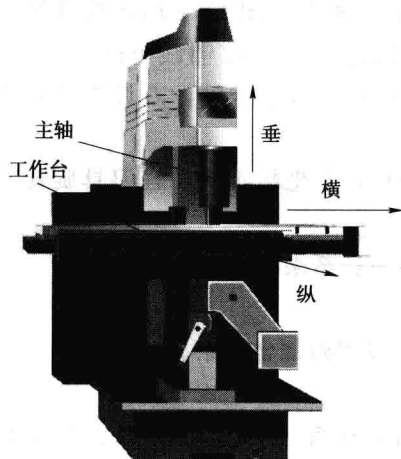


图 1-7 立式数控铣床

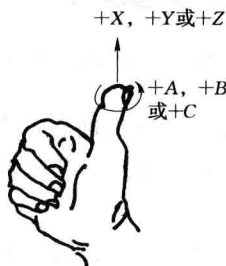


图 1-8 直角坐标系

1) 伸出右手的大拇指、食指和中指,并互为 90° 。则大拇指代表 X 坐标,食指代表 Y 坐标,中指代表 Z 坐标。

2) 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。

3) 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。

(3) 运动方向的规定。增大刀具与工件距离的方向即为各坐标轴的正方向。

2. 坐标轴方向的确定

(1) Z 坐标。Z 坐标的运动方向是由传递切削动力的主轴所决定的，即平行于主轴轴线的坐标轴即为 Z 坐标，Z 坐标的正向为刀具离开工件的方向。

如果机床上有几个主轴，则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 坐标方向；如果主轴能够摆动，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向；如果机床无主轴，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向。

(2) X 坐标。X 坐标平行于工件的装夹平面，一般在水平面内。确定 X 轴的方向时，要考虑两种情况：

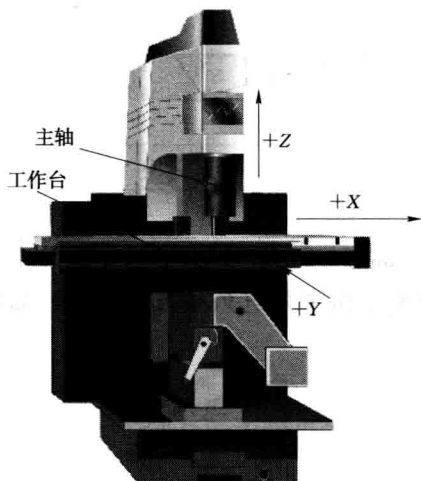


图 1-9 数控立式铣床的坐标系

1) 如果工件做旋转运动，则刀具离开工件的方向为 X 坐标的正方向。

2) 如果刀具做旋转运动，则分为两种情况：Z 坐标水平时，观察者沿刀具主轴向工件看时，+X 运动方向指向右方；Z 坐标垂直时，观察者面对刀具主轴向立柱看时，+X 运动方向指向右方。

(3) Y 坐标。在确定 X、Z 坐标的正方向后，可以用根据 X 和 Z 坐标的方向，按照右手直角坐标系来确定 Y 坐标的方向。

【例 1-1】 根据如图 1-9 所示的数控立式铣床结构图，试确定 X、Y、Z 直线坐标。

(1) Z 坐标：平行于主轴，刀具离开工件的方向为正。

(2) X 坐标：Z 坐标垂直，且刀具旋转，所以

面对刀具主轴向立柱方向看，向右为正。

(3) Y 坐标：在 Z、X 坐标确定后，用右手直角坐标系来确定。

【知识链接】

附加坐标系：为了编程和加工的方便，有时还要设置附加坐标系。

对于直线运动，通常建立的附加坐标系有：

指定平行于 X、Y、Z 的坐标轴可以采用的附加坐标系：第二组 U、V、W 坐标，第三组 P、Q、R 坐标。

指定不平行于 X、Y、Z 的坐标轴也可以采用的附加坐标系：第二组 U、V、W 坐标，第三组 P、Q、R 坐标。

机床原点与参考点：机床坐标系是机床固有的坐标系，是制造和调整机床的基础，也是设置工件坐标系的基础。

机床原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定下来，一般不允许随意变动，是数控机床进行加工运动的基准参考点。

参考点也是机床上的一个固定不变的极限点，其位置由机械挡块或行程开关来确定。

通过回机械零点来确认机床坐标系。在数控铣床上,机床原点一般取在 X、Y、Z 坐标的正方向极限位置上,见图 1-10。

数控机床开机时,必须先确定机床原点,只有机床原点被确认后,刀具(或工作台)移动才有基准。所以开机后必须先回零。

二、机床对刀

1. 对刀

对刀的目的是通过刀具或对刀工具确定工件坐标系与机床坐标系之间的空间位置关系,并将对刀数据输入到相应的存储位置,是数控加工中最重要的操作内容,其准确性将直接影响零件的加工精度。

对刀方法有试切法、寻边器对刀、机内对刀仪对刀、自动对刀等。其中试切法对刀精度较低但不需要使用任何仪器,以图 1-11 所示工件为例,操作过程如下。

$$X_1 = -310.300 \quad X_2 = -200.300$$

$$Y_1 = -320.600$$

$$Z = -225.120$$

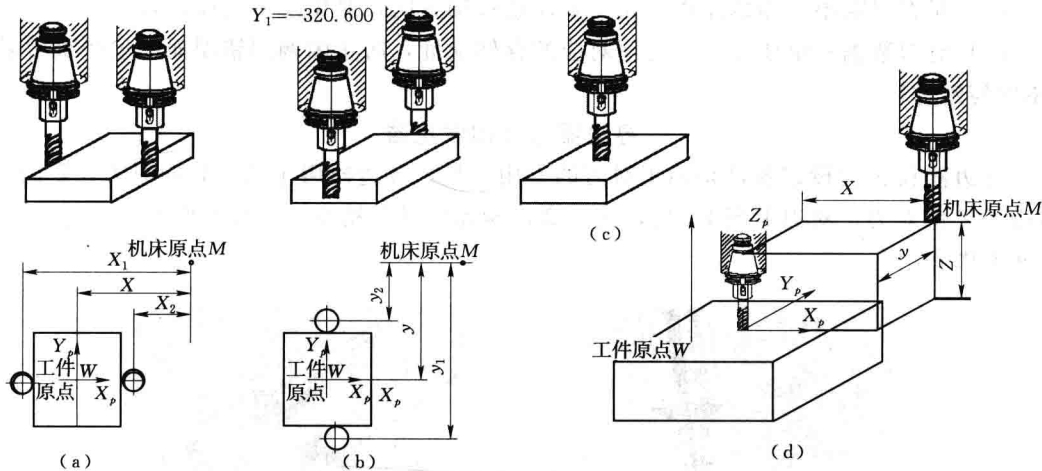


图 1-11 试切法对刀示意图

(a) X 向对刀; (b) Y 向对刀; (c) Z 向对刀; (d) 验证

(1) X、Y 向对刀。

- 1) 将工件通过夹具装在机床工作台上,装夹时,工件的四个侧面都应留出铣刀空间。
- 2) 快速移动工作台和主轴,让铣刀靠近工件的左侧。
- 3) 改用微调操作,让铣刀慢慢接触到工件左侧,记下此时机床坐标系中的 X 坐标值,如 $X_1 = -310.300$,见图 1-11 (a)。
- 4) 抬起铣刀至工件上表面之上,快速移动工作台和主轴,让铣刀靠近工件右侧。
- 5) 改用微调操作,让铣刀慢慢接触到工件右侧,记下此时机械坐标系中的 X 坐标值,如 $X_2 = -200.300$,见图 1-11 (a)。
- 6) 据此可得工件坐标系原点 W 在机床坐标系中的 X 坐标值

$$X = (X_1 + X_2) / 2 = (-310.300 - 200.300) / 2 = -255.300$$

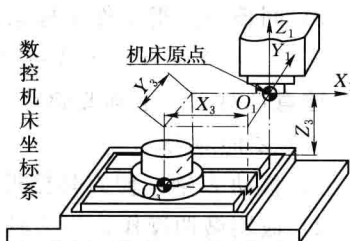


图 1-10 铣床原点

7) 同理可测得工件坐标系原点 W 在机械坐标系中的 Y 坐标值, 见图 1-11 (b)

$$Y = (Y_1 + Y_2) / 2 = (-320.600 - 210.600) / 2 = -265.600$$

注意: 对刀时主轴要旋转。

(2) Z 向对刀。

1) 移动 Z 轴, 使刀具接近工件上表面 (应在工件需要被切除的部位)。

2) 改用微调操作, 当刀具刀刃在工件表面切出一个圆圈记下此时机械坐标系中的 Z 坐标值, 如 $Z = -225.120$, 见图 1-11 (c)。

也可以把浸有切削液的薄纸片粘在工件上表面, 当把薄纸片转飞时, 记下此时机械坐标系中的 Z 坐标值, 使用薄纸片时应把当前的机床坐标减去 $0.01 \sim 0.02 \text{mm}$ 。

通过对刀得到的坐标值 (X, Y, Z) 即为工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值, 见图 1-11 (d)。

2. 注意事项

在对刀操作过程中需注意以下问题:

(1) 在对刀过程中, 可通过改变微调进给量来提高对刀精度。

(2) 对刀时需小心谨慎操作, 尤其要注意移动方向, 避免发生碰撞危险。

(3) 对刀数据一定要存入与程序对应的存储地址, 防止因调用错误而产生严重后果。

【拓展与延伸】

寻边器与 Z 向设定器

寻边器和 Z 向设定器都是用于对刀的专用工具, 寻边器用于 X、Y 向对刀, Z 向设定器用于 Z 向对刀, 对刀见图 1-12, 效率高, 能保证对刀精度, 其对刀原理与试切法相同, 在此不作介绍。

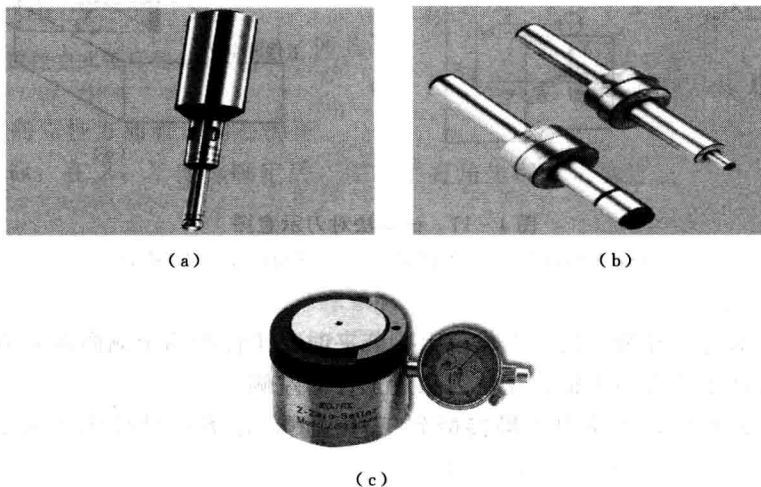


图 1-12 常见对刀工具

(a) 机械 (偏心) 式寻边器; (b) 光电 (偶合) 式寻边器;
(c) Z 轴设定器

任务四 铣削知识

走刀路线是指数控加工中刀具相对于被加工工件的运动轨迹,即刀具从起刀点开始运动起直至结束加工程序所经过的路径,包括切削加工的路径及刀具切入、退出等非切削空行程,因此又称加工路线,是编制程序的依据之一。

1. 铣削外轮廓表面

在铣削外轮廓表面时一般采用立铣刀侧面刃口进行切削。对于二维轮廓加工,通常采用的加工路线为:从起刀点移到下刀点→下刀至切削底部→沿切向切入工件→轮廓切削→刀具向上抬刀、退离工件→返回起刀点。

如图 1-13 (a) 所示,在圆形毛坯上加工出长方形凸台,毛坯材料为 $\phi 80$ PVC 塑料棒。采用 $\phi 20$ mm 圆柱铣刀加工,选工件上表面中心为工件原点,刀具的走刀路线为: $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow J \rightarrow A$,加工动作分解为,如图 1-13 (b) 所示。

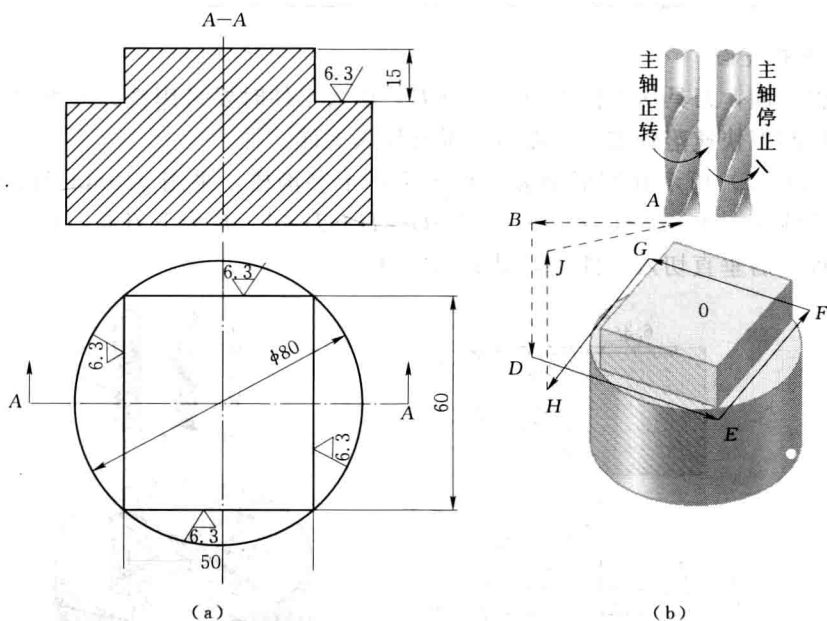


图 1-13 长方形凸台走刀路线 (单位: mm)

(a) 零件图; (b) 走刀路线

主轴正转——在 A 点主轴正转,准备切削加工;

起刀——A 为起刀点 (起始高度),快速移动到 B 点;

下刀——B 为下刀点,在 B 点刀下落至 D 点;

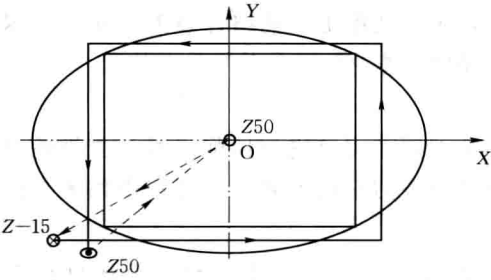
加工——从 D 开始加工,经 E、F、G 到 H 点完成;

抬刀——在 H 点铣刀抬起至 J;

主轴停止——铣刀返回 A 点后主轴停止。

如表 1-2 所示为加工长方形凸台练习件走刀路线图。

表 1-2 长方形凸台练习件走刀路线

数控加工走刀路线图	零件名称	长方形凸台练习件	零件图号	01-05-01	程序号	O6000
机床型号	XK5032	数控系统	加工内容	长方形凸台	共 1 页	第 1 页
					编程	
					校对	
					审批	
符号						
含义	抬刀	下刀	编程原点	起刀点	走刀方向	快进

2. 铣削内腔表面

铣削内腔表面，刀具从工件表面上方下刀，切入工件时要采用铣刀底面进行切削，所以刀具由起始高度快速落到安全高度后，垂直切入工件。

如图 1-14 (a) 所示在圆形毛坯上加工出一十字沟槽，采用 $\phi 10\text{mm}$ 键槽铣刀加工，刀具的走刀路线为： $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow J \rightarrow A$ ，B 为下刀点，从 B 点下落至 C 点（安全高度）后垂直切入工件 [见图 1-14 (b)]。

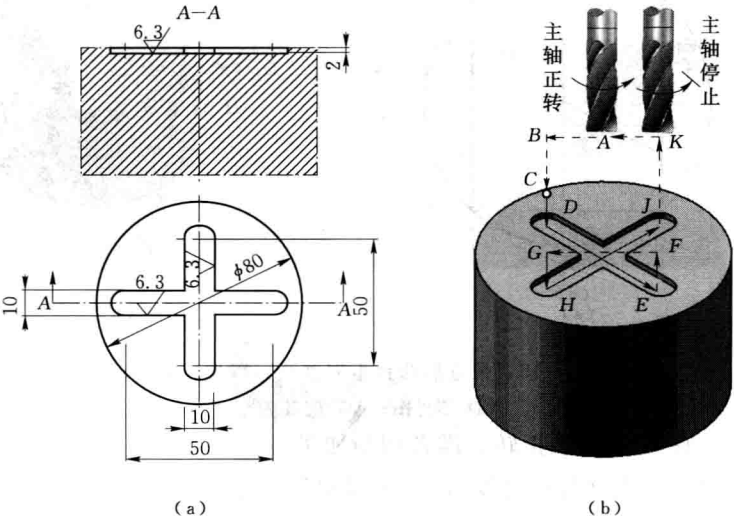


图 1-14 十字沟槽走刀路线（单位：mm）
(a) 零件图；(b) 走刀路线

【拓展与延伸一】

1. 刀具下刀方式

(1) 起刀点、安全平面。起刀点是加工零件时刀具相对于零件运动的起点，因为数控