



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书



21世纪全国高职高专规划教材

数控机床 操作实训

■ 袁周华 袁永富 主编

 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

21 世纪全国高职高专规划教材

数控机床操作实训

袁周华 袁永富 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床操作实训 / 袁周华, 袁永富主编. —北京:
中国农业出版社, 2006. 10
普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书
ISBN 7-109-10653-5

I. 数... II. ①袁...②袁... III. 数控机床-操作-高等
学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 121553 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥
责任编辑 李 燕

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 18.75

字数: 348 千字

定价: 24.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编 者 名 单

主 编 袁周华 袁永富

副主编 袁金成 翟旭军

参 编 宇海英 唐书林 廉良冲

审 稿 姚冠新

内 容 提 要

本教材根据“高职高专教育专业人才培养目标及规格”的要求，紧密结合当前数控加工生产实际而编写。

本教材针对当前生产中数控机床的操作使用要求，较全面地介绍了数控编程及数控加工工艺基础知识。重点介绍了目前实际生产中应用最广泛的数控车床、数控铣床、加工中心、数控线切割机床的编程和基本操作。同时，还对目前生产中常用的 FANUC、SIEMENS、国产数控 HNC 系统及 3B 格式编程的特点及基本操作作了叙述。本教材在内容选择上，突出基础、实用、先进性；在编写方式上，注重通俗易懂、由浅入深（实训课题的设计上由基础到综合），并力求全面、系统和重点突出。

本教材可作为高职高专、成人高校及本科院校的二级学院和民办高校的数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化等专业的实习实训教材，也可作为其他职业教育及职工培训教材或供有关工程技术人员作参考资料。

前 言

随着科学技术的进步与发展,数控机床及加工中心的应用日趋普及,现代数控加工技术的应用使机械制造过程发生了巨大的变化,并已成为先进制造业的基础,因此对技术人员及操作者等相关从业人员要求越来越高。为了适应数控技术和国民经济发展的需求,以及高职教育培养服务生产一线高等技术应用人才的目标,并结合职业技术学院学生的能力培养要求,我们编写了《数控机床操作实训》一书。本书从实用的角度出发,力求紧贴当前生产实际,以掌握实际基本操作技能为目的,简要介绍了数控机床及数控加工工艺基础知识,并结合实际生产中的典型加工,侧重突出了数控机床的基本操作训练。在选材上,力求全面、系统和突出基础训练,既注重了实用性又照顾到先进性;在叙述上,强调通俗易懂,由浅入深,便于教学。是一本针对高职高专及数控人员培训的实用性强、适应面宽的教材。同时也可供机电工程技术人员参考。

本书由南通农业职业技术学院袁周华和宜宾职业技术学院袁永富任主编。第1章由黑龙江农业经济职业学院宇海英编写,第2章、第3章由宜宾职业技术学院袁永富、唐书林(第3章课题3至课题8)编写,第4章、第5章、第6章由南通农业职业技术学院袁周华编写,第7章、第8章由湖南生物机电职业技术学院袁金成、廉良冲和江苏畜牧兽医职业技术学院翟旭军编写。

本书承蒙江苏大学姚冠新教授审稿,为本书提供了宝贵意见和建议;甘肃畜牧工程职业技术学院吴应昌老师参加了本书编写的前

期工作；南通纵横国际股份有限公司数控机床制造分公司高级工程师支建冲、南通职业大学高级技师偶金华、南通农业职业技术学院数控教研室王惠老师等在本书的编写过程中给予了大力支持，编者在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免存在一些缺点和不妥之处，恳请读者予以批评指正。

编 者

2006年6月

目 录

前言

第1篇 数控加工基础

第1章 数控加工编程基础	1
1.1 数控程序编制	1
1.2 数控机床的坐标系	6
1.3 数控加工工艺基础	10

第2篇 数控车床编程与操作实训

第2章 数控车床编程与操作基础	22
2.1 数控车床的基础知识	22
2.2 华中车床数控系统操作面板及编程指令	36
2.3 FANUC系统的特点、操作面板、刀具的补偿功能及编程指令	43
2.4 SIEMENS系统的特点、操作面板及编程指令	55
第3章 数控车床操作实训	65
课题1 文明生产、安全操作规程及数控车床的日常维护	65
课题2 数控车床的基本操作练习	69
课题3 数控车床对刀与找正	104
课题4 基本形面加工	120
课题5 切断与割槽	132
课题6 成形面加工	135
课题7 螺纹加工	138
课题8 综合练习	145

第3篇 数控铣床、加工中心编程及操作实训

第4章 数控铣床编程与工艺基础	156
4.1 数控铣床的结构与功能	156
4.2 数控铣床的工艺装备	159
4.3 数控铣削工艺性分析	165

4.4 数控铣床编程的基本方法	169
第5章 加工中心编程与工艺基础	184
5.1 加工中心概述	184
5.2 加工中心的工艺装备	186
5.3 加工中心的编程特点	193
5.4 加工中心的固定循环功能	193
5.5 加工中心的宏程序功能	200
第6章 数控铣床及加工中心操作实训	205
课题1 安全操作规程与日常维护	205
课题2 加工准备工作	212
课题3 轮廓加工	222
课题4 孔系加工	227
课题5 镗孔加工	231
课题6 壳体加工	234
课题7 宏指令应用	239
 第4篇 数控电火花线切割机床的编程与操作	
第7章 数控电火花线切割机床的编程与操作基础	247
7.1 数控电火花线切割机床简介	247
7.2 数控电火花线切割加工工艺	249
7.3 数控电火花线切割机床的基本编程方法	255
第8章 数控电火花线切割机床操作实训	268
课题1 安全生产操作规程及日常维护	268
课题2 数控电火花线切割机床的基本操作	270
课题3 数控电火花线切割加工应用	273
 附录	277
附录1 数控机床的一般操作步骤	277
附录2 数控功能的基本术语	279
附录3 G、M代码及含义	287
 主要参考文献	292

第1篇 数控加工基础

第1章 数控加工编程基础

数控机床是一种高效的自动化加工设备，它用数字信息来控制机床运动。机床所有的运动包括主运动、进给运动及各种辅助运动，都由从数控系统外部输入的数字信号来控制。在数控机床上加工零件时，事先把加工零件所需的全部信息和数据按数控系统规定格式和代码，编写成加工程序并记录在控制介质上，最后将控制介质的数据输入数控系统，再由数控系统控制机床进行加工。而这些直接用于加工的程序（指令集）称为数控加工程序，简称数控程序。它属于数控机床的应用软件，与其对应的是数控系统内部的系统软件（不在本教材介绍范围内），而系统软件是用于系统工作控制的。

数控系统的种类繁多，其相应的数控程序的语言规则和格式也有所不同。本教材主要对目前生产中最常用的系统进行介绍。

1.1 数控程序编制

数控加工程序的编制是数控机床使用的一项重要工作，它不仅直接影响到零件的加工质量，而且还与数控机床功能的合理应用及工作的安全、可靠、高效密切相关。因此，在程序编制前，应首先了解数控程序编制的主要工作任务、程序编制的步骤及每一步应遵循的工作原则等，以确保最终编制出满足使用要求的数控加工程序。

1.1.1 数控程序编制的概念

1. 数控程序编制 加工程序的编制，就是把零件加工所需的全部数据和信息（如零件的加工路线、切削用量、刀具参数、零件尺寸数据等）按数控系统的指令和格式，编写成加工程序。然后记录在相应的控制介质上（如穿孔纸带、磁带、磁盘等）。其主要内容有工艺分析、数学处理、填写加工程序单等。

2. 程序编制的分类 数控程序的编制一般可分为手工编程和自动编程。

(1) 手工编程 手工编程是指由操作者或程序员以人工方式完成整个加工程序编制工作的编程方法。手工编程广泛应用于形状不太复杂的零件。因为此类零件所需的加工程序不长、数值计算也不复杂、不易出错,所以采用手工编程既及时又经济。

(2) 自动编程 自动编程是指在自动编程的方式下,编程人员只需采用某种方式输入加工工件的几何及工艺信息,然后由计算机自动完成数据处理、零件加工程序的编写、程序信息载体的制作及程序校验等工作的编程方法。这种编程方法的特点为其主要工作由计算机完成。它常用于形状复杂、加工程序较长、使用手工编程十分烦琐和费时,且易出错或手工编程根本不能完成的零件的编程。

自动编程又可分为 APT 软件编程和 CAM 软件编程。

APT 软件编程是利用计算机完成除拟定工艺方案以外所有编程工作的编程方法。编程人员只需根据零件的加工要求,使用相应的数控语言编写出零件加工的源程序,并输入计算机。由计算机自动进行数值计算、后置处理、编写出程序清单,并在屏幕上模拟显示加工过程,及时修改直至自动穿出数控纸带,或以直接通信的方式输入数控机床。

CAM 软件编程是一种先进的自动编程技术,目前很多 CAD/CAM 系统都采用这种编程方法。运用这种方法编程,编程人员可通过直接输入图形的各种要素,从而在计算机内部建立加工对象的几何模型,然后再在该模型上进行工艺规划、刀具选择、工艺参数及走刀路线的确定。最后由计算机自动完成刀具运动轨迹数据的计算及加工程序的编制和控制介质的制作或加工程序的输入等工作。此外,系统还能对所生成的程序进行检查和仿真,以减少试切的次数,消除错误的发生。

总之,自动编程不但解决了一些用手工编程困难或无法完成加工程序的编制,同时还提高了编程效率。但由于数控系统的兼容性问题,自动编程软件编制的程序不一定适合每一台数控机床(使用时还需进行一定的人工处理),对于一些简单的加工,手工编程可能更为方便。因此,手工编程是数控编程的基础。

1.1.2 数控程序的组成

数控加工程序是数控加工中的重要组成部分。不同的数控系统,其加工程序的结构及程序段格式也可能有某些差异,但基本内容与结构是相同的。一个完整的程序必须包括程序的开始部分、内容部分和结束部分。

对功能较强的数控系统加工程序可分为主程序及子程序。不论是主程序还

是子程序，每一个程序都是由程序号、程序内容和程序结束三部分组成。程序的内容则由若干程序段组成，程序段是由若干字组成，每个字又由字母和数字组成，即字母和数字组成字，字组成程序段，程序段组成程序。

1. 程序号 程序号是程序的开始部分，为了区别存储器中的程序，每个程序都要有程序编号，在编号前采用程序编号地址码。例如，在 FANUC 系统中，采用英文字母“O”作为程序编号导址，而其他系统可能采用“p%”、“:”等。

2. 程序内容 程序内容是整个程序的核心，由许多程序段组成，每个程序段由一个或多个指令组成，表示数控机床要完成的全部动作。

3. 程序结束 以程序结束指令 M03 作为整个程序结束的符号，来结束整个程序。

1.1.3 数控程序的格式

1. 程序段格式 程序段是可作为作为一个单位来处理的、连续的字组，是数控加工程序中的一条语句。一个完整的数控加工程序是若干个程序段组成的。

程序段格式是指程序段中的字、字符和数据的安排形式。现在一般使用地址可变程序段格式，每个字长不固定，各个程序段中的长度和功能字的个数都是可变的。

地址可变程序段格式中，在上一程序段中写明的、本程序段里又不变化的那些字仍然有效，可以不再重写。这种功能字称之为续效字。

程序段格式举例：

N30 G01 X88.1 Y30.2 F500 S3000 T02 M08

N40 X90 (本程序段省略了续效字“G01, Y30.2, F500, S3000, T02, M08”，但它们的功能仍然有效)

在程序段中，必须明确以下几点的关系：

移动目标：终点坐标值

沿怎样的轨迹移动：准备功能字

进给速度：进给功能字 F

切削速度：主轴转速功能字 S

使用刀具：刀具功能字 T

机床辅助动作：辅助功能字 M

2. 加工程序的一般格式

(1) 程序开始符、结束符 程序开始符、结束符是同一个字符，ISO 代码中是%，EIA 代码中是 EP，书写时要单列一段。

(2) 程序名 程序名有两种形式：一种是英文字母 O 和 1~4 位正整数组成；另一种是由英文字母开头，字母数字混合组成的。一般要求单列一段。

(3) 程序主体 程序主体是由若干个程序段组成的。每个程序段一般占一行。

(4) 程序结束指令 程序结束指令可以用 M02 或 M30。一般要求单列一段。

加工程序的一般格式举例：

```
% // 开始符
O1000 // 程序名
N10 G00 G54 X50 Y30 M03 S3000
N20 G01 X88.1 Y30.2 F500 T02 M08 // 程序主体
N30 X90
:
N300 M30 // 结束符
```

1.1.4 字与字的功能

1. 字符与代码 字符是用来组织、控制或表示数据的一些符号，如数字、字母、标点符号、数学运算符等。数控系统只能接受二进制信息，所以必须把字符转换成 8BIT 信息组合成的字节，用“0”和“1”组合的代码来表达。国际上广泛采用两种标准代码：

① ISO 国际标准化组织标准代码；

② EIA 美国电子工业协会标准代码。

这两种标准的编码方法不同，在现代大多数数控机床上这两种代码都可以使用。

2. 字 在数控加工程序中，字是指一系列按规定排列的字符，作为一个信息单元存储、传递和操作。字是由一个英文字母与随后的若干位十进制数字组成。这个英文字母称为地址符。

如：“X2500”是一个字，X 为地址符，数字“2500”为地址中的内容。

3. 字的功能 组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义，以下是以 FANUC-0M 数控系统的规范为主来介绍的，实际工作中，请遵照机床数控系统说明书来使用各个功能字。

(1) 顺序号字 N 顺序号字又称程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首，由顺序号字 N 和后续数字组成。顺序号字 N 是地址符，后续数字一般 1~4 位正整数。数控加工中的顺序号实际上是程序段的名称，与程序执行

的先后次序无关。数控系统不是按顺序号的次序来执行程序，而是按照程序段编写时的排列顺序逐段执行。

顺序号具有以下作用：

- ①对程序的校对和检索修改；
- ②作为条件转向的目标，即作为转向目的程序段的名称。
- ③可以进行复归操作，这是指对有顺序号的程序段加工可以从程序的中间开始，或回到程序中断处开始。

一般使用方法：编程时将第一程序段冠以 N10，以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号，这样，在调试程序时如果需要在 N10 和 N20 之间插入程序段时，就可以使用 N11、N12 等。

(2) 准备功能字 G 准备功能字的地址符是 G，又称为 G 功能或 G 指令，是用于建立机床或控制系统工作方式的一种指令。后续数字一般为 1~3 位正整数。

(3) 尺寸字 尺寸字用于确定机床上刀具运动终点的坐标位置。

第一组 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R 用于确定终点的直线坐标尺寸；

第二组 A、B、C、D、E 用于确定终点的角度坐标尺寸；

第三组 I、J、K 用于确定圆弧轮廓的圆心坐标尺寸。

(4) 进给功能字 F 进给功能字的地址符是 F，又称为 F 功能或 F 指令，用于指定切削的进给速度。

(5) 主轴转速功能字 S 主轴转速功能字的地址符是 S，又称为 S 功能或 S 指令，用于指定主轴转速。

(6) 刀具功能字 T 刀具功能字的地址符是 T，又称为 T 功能或 T 指令，用于指定加工时所用刀具的编号。

(7) 辅助功能字 M 辅助功能字的地址符是 M，后续数字一般为 1~3 位正整数，又称为 M 功能或 M 指令，用于指定数控机床辅助装置的开关动作。FANUC-0M 系统 M 功能字含义见表 1-1。

表 1-1 FANUC-0M 系统 M 功能字含义

M 功能字	含 义
M00	程序停止
M01	计划停止
M02	程序结束
M03	主轴顺时针旋转
M04	主轴逆时针旋转

(续)

M 功能字	含 义
M05	主轴旋转停止
M06	换刀
M07	2号冷却液开
M08	1号冷却液开
M09	冷却液关
M30	程序停止并返回开始处
M98	调用子程序
M99	返回子程序

1.1.5 数控编程的内容及步骤

数控编程是指从零件图纸到获得数控加工程序的全过程(图1-1)。

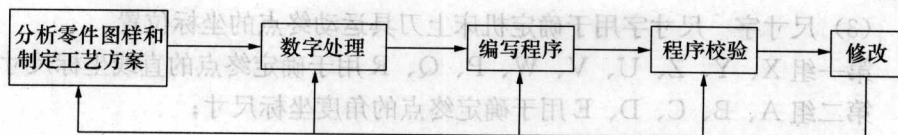


图 1-1 数控程序编制的内容及步骤

1. 分析零件图样和制定工艺方案 这一步骤的主要工作内容为：对零件图纸进行分析，明确加工的内容和要求；确定加工方案；选择适合的数控机床；正确选择或设计刀具和夹具；确定合理的加工路线及切削用量等。

2. 数字处理 在确定了工艺方案后，就可以根据零件图样和所确定的加工路线，计算刀具运动轨迹坐标，获得刀位数据。

3. 编写程序 在完成了上述两步骤后，即可根据所定的加工路线及计算好的刀位数据，并按照所选择的数控系统规定的程序代码和格式，逐段地编写加工程序。

4. 程序校验 编写好的程序，可以输入数控系统，启动机床运行。但一般来说，正式加工之前要对程序进行校验，可以用计算机仿真软件进行仿真，也可直接在机床上用石蜡、石墨等易切材料进行试切，以便确认程序是否正确。

1.2 数控机床的坐标系

在数控机床上加工作件时，刀具与工件的相对运动必须在确定的坐标系中

按规定的程序进行加工。因此,数控机床坐标系的确定是数控加工的一项重要基础工作。其主要包括机床坐标系、编程坐标系和加工坐标系。

1.2.1 机床坐标系

为便于数控编程时描述机床的运动、简化程序的编制方法及保证记录数据的互换性,数控机床的坐标系和运动的方向均已标准化。

1. 坐标轴和运动方向命名的原则

①假定刀具相对于静止的工件而运动,当工件移动时,即在坐标轴符号上加“'”表示。

②刀具远离工件的运动方向为坐标的正方向。

③机床主轴旋转运动的正方向是按照右旋螺纹进入工件的方向,如车床主轴顺时针旋转的方向即为“+C'”。

2. 坐标轴的规定

(1) Z 坐标轴

①在机床坐标系中,规定传递切削动力的主轴轴线为Z坐标轴。

②对于没有主轴的机床(如数控龙门刨床),规定Z坐标轴垂直于工件装夹面方向。

③如机床上有多个主轴,则选一垂直于工件装卡面的主轴作为主要的主轴。

④当主轴始终平行于标准坐标系的一个坐标,则该坐标即为Z坐标,例如卧式铣床的水平主轴。

(2) X 坐标轴

①X坐标是水平的,它平行于工件的装夹面。

②对工件旋转的机床,X坐标的方向在工件的径向上,并且平行于横滑座。

③对刀具旋转的机床,如Z坐标的方向是水平(卧式)的,当从主要刀具的主轴向工件看时,+X坐标方向指向右方;如Z坐标是垂直(立式)的,当从主要刀具的主轴向立柱看时,+X坐标方向指向右方。

④对刀具或工件均不旋转的机床(如刨床),X坐标平行于主要的进给方向,并以该方向为正方向。

(3) Y 坐标轴

Y坐标轴根据Z和X坐标轴,按照右手直角笛卡尔坐标系确定。

(4)如在X、Y、Z主要直线运动之外另有第二组平行于它们的运动,可分别将它们的坐标指定为U、V、W。

(5)旋转坐标A、B、C分别表示其轴线为平行于X、Y、Z坐标轴的旋

转坐标。如 $+A$ 表示在 $+X$ 坐标轴方向按照右旋螺纹旋转的方向。

标准的数控机床坐标系是一个如图1-2所示的右手直角笛卡尔坐标系。

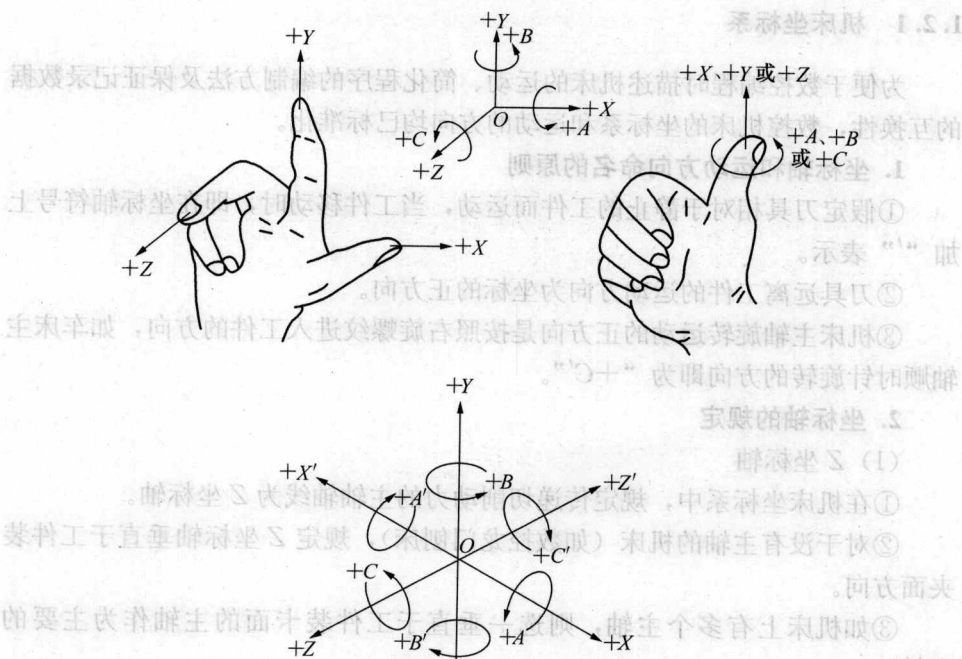


图1-2 右手笛卡尔坐标系

1.2.2 编程坐标系

编程坐标系，又称工件坐标系，是编程时用来定义工件形状和刀具相对工件运动的坐标系。为保证编程与机床加工的一致性，工件坐标径向也应是右手笛卡尔坐标系。工件装夹到机床上时，应使工件坐标系与机床坐标的坐标轴方向保持一致。

编程坐标系是编程人员根据零件图样及加工工艺等建立的坐标系。编程坐标系一般供编程使用，确定编程坐标系时不必考虑工件毛坯在机床上的实际装夹位置。

1.2.3 加工坐标系

加工坐标系是指以确定的加工原点为基准所建立的坐标系。

在加工过程中，数控机床是按照工件装夹好后所确定的加工原点位置和程序要求进行加工的。编程人员在编制程序时，只要根据零件图样就可以选定编

程原点、建立编程坐标系、计算坐标数值，而不必考虑工件毛坯装夹的实际位置。对于加工人员来说，应在装夹工件、调试程序时，将编程原点转换为加工原点，并确定加工原点的位置，在数控系统中给予设定（即给出原点设定值）。设定加工坐标系后就可根据刀具当前位置，确定刀具起始点的坐标值。在加工时，工件各尺寸的坐标值都是相对于加工原点而言的，这样数控机床才能按照准确的加工坐标系位置开始加工。图 1-3 中 O_2 为齿坯的编程原点。

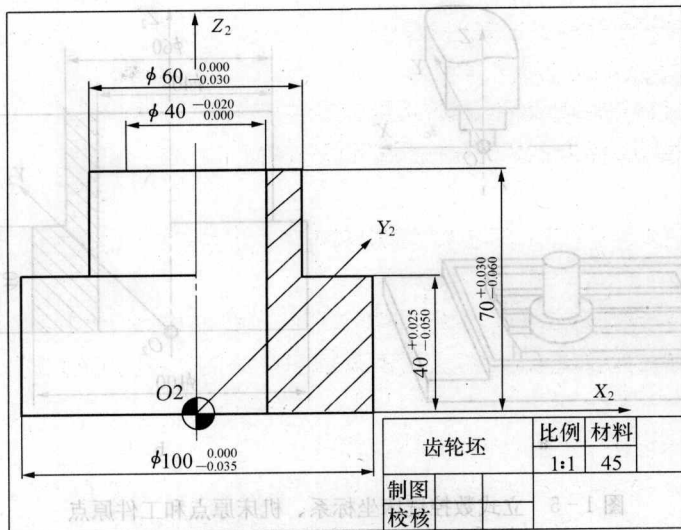


图 1-3 齿坯的编程原点

1.2.4 机床原点及程序原点

1. 机床原点 机床坐标系的原点也称机床原点或机械原点，如图 1-4 和图 1-5 所示的 O 点，从机床设计的角度来看，该点位置可任选，但从使用某一具体机床的角度来看，这点却是机床上一个固定的点。

与机床原点不同但又很容易混淆的另一个概念是机床零点，它是机床坐标系中一个固定不变的极限点，即运动部件回到正向极限的位置。在加工前及加工结束后，可用控制面板上的“回零”

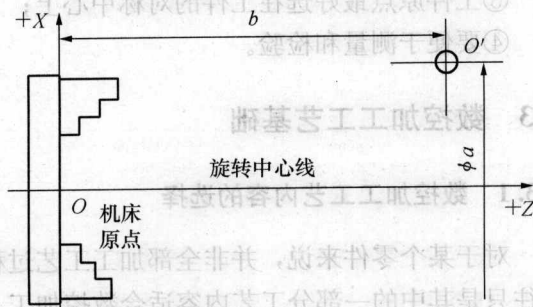


图 1-4 数控车床的机床坐标系