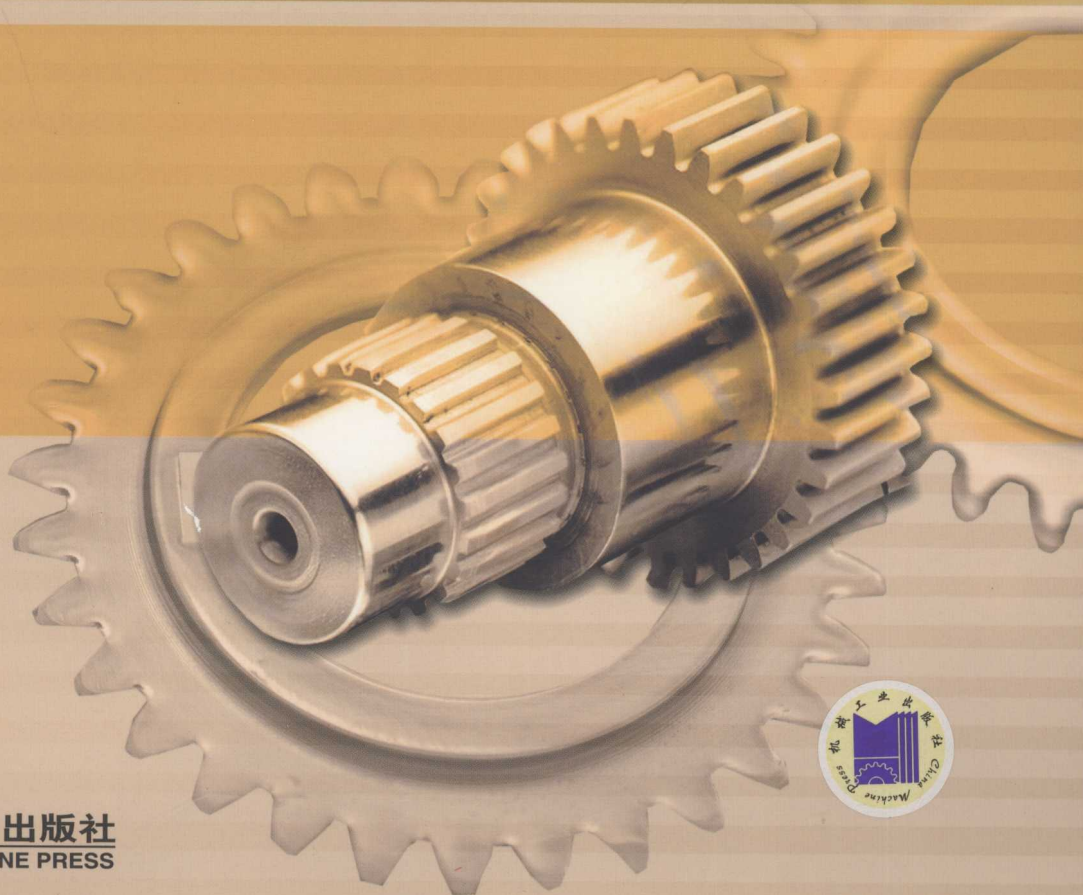




高职高专规划教材

数控机床编程与操作

主 编 穆国岩
副主编 许玲萍 李绍春



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专规划教材

数控机床编程与操作

主 编 穆国岩

副主编 许玲萍 李绍春

参 编 李占锋 王 萍 宋卫国

主 审 李一龙



机械工业出版社

本书以普及率较高的 FANUC 0i 数控系统为主线, 兼顾华中数控系统, 主要介绍了数控车床、数控铣床和加工中心的编程与操作, 删减各模块间相互重复的内容, 将理论知识与数控编程、数控仿真加工以及数控机床操作等有机地融为一体。

教材内容具有鲜明的理论联系实际、注重实践教学、实用性强等特点, 重点突出、主次分明、循序渐进、图文并茂、实例丰富, 对项目教学法进行了有益的初探。

本书可作为高职高专及大中专院校机电类专业的教材, 也可用作企业数控加工技能培训教程, 还可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程与操作/穆国岩主编. —北京: 机械工业出版社, 2007.11

高职高专规划教材

ISBN 978-7-111-22572-0

I. 数… II. 穆… III. 数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 160862 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 郑 丹 版式设计: 霍永明 责任校对: 樊钟英

封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.75 印张 · 313 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-22572-0

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379171

封面无防伪标均为盗版

前 言

数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。当今世界各国制造业均广泛采用数控技术,以提高制造能力和制造水平、提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为各发达国家加速经济发展、提高综合国力的重要途径。同样,发展数控加工技术也是当前我国机械制造业技术改造的必由之路,是未来工厂自动化的基础。

随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批能够熟练掌握现代数控机床编程、操作及维护技术的应用型高级技术人才,为此,编写理论联系实际、系统性强、有实用价值的教材就显得尤为迫切。本书即是作者结合教学常用的数控设备,兼顾社会上普及率较高的数控系统,总结多年的教学经验编写而成的。

本书是精品课程“数控编程与操作”的组成部分之一,全书依据“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥的理论概念,将理论知识与数控编程、数控仿真加工以及数控机床操作有机地融为一体。

书中选取的数控系统,以社会上普及率较高的 FANUC Oi 数控系统为主,兼顾了近期发展起来的华中数控系统;详细介绍了数控车床、数控铣床及加工中心的编程与操作,尽量删减各模块间相互重复的内容,重点突出、主次分明、深入浅出,为典型指令准备了富有针对性的实例。本书具有鲜明的理论联系实际、注重实践教学、实用性强等特点,对项目教学法进行了有益的初探。

作为数控技术专业教材,本书对提高数控编程与操作的专业技能大有裨益,能够满足自学或课堂教学的需求。本书读者对象为高等职业院校数控加工技术、模具设计与制造、机电一体化等专业的学生,也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书是所有编写人员通力合作的成果,是集体智慧的结晶。穆国岩担任本书主编,其中第一章、第二章第一、二节和第五章第一、三节由穆国岩编写,第三章第一、二、四节和第四章第二、三节由许玲萍编写,第二章第三节和第四章第一节由李绍春编写,第二章第五节和第四章第四节由李占锋编写,第五章第二、四节由王萍编写,第二章第四节和第三章第三节由宋卫国编写。全书由李一龙主审。

本书在编写过程中,得到了烟台职业学院领导和教务处领导的大力支持。烟台职业学院是教育部“国家数控技能型紧缺人才培养项目”试点院校,机电一体化技术专业是山东省高等职业教育示范专业,数控技术专业是教育部“技能型紧缺人才培养培

训工程”试点专业。多年来，专业建设的积淀为本书的编写打下了坚实的基础。教育部高职高专机械设计制造类专业教学指导委员会委员刘敏教授为本书的编写给予了帮助和指导，在此一并致谢。

由于编者水平有限，加之数控技术发展迅速，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 数控编程基础	1
第二节 数控机床的坐标系统	3
习题一	8
第二章 数控车床编程与操作	9
第一节 数控车削加工工艺	9
第二节 数控车削刀具及刀具参数处理	18
第三节 FANUC Oi 系统数控车床编程	30
第四节 FANUC Oi 数控车床仿真系统	64
第五节 数控车床编程实例	73
习题二	76
第三章 数控铣床编程与操作	80
第一节 数控铣削加工工艺	80
第二节 FANUC Oi 数控铣床典型编程指令	95
第三节 FANUC Oi 数控铣床仿真系统	118
第四节 数控铣床编程实例	122
习题三	131
第四章 加工中心编程与操作	135
第一节 典型编程指令	135
第二节 FANUC Oi 系统加工中心的操作	149
第三节 对刀仪及使用	163
第四节 加工中心编程实例	165
习题四	168
第五章 华中数控系统编程与操作	173
第一节 华中数控车床典型编程指令	173
第二节 华中数控车床操作	188
第三节 华中数控铣床典型编程指令	202
第四节 华中数控铣床操作	207
习题五	210
参考文献	214

第一章 概 述

第一节 数控编程基础

数控加工，泛指在数控机床上加工工件的工艺过程。数控机床是用数字化信号对机床的运动及加工过程进行控制的机床。数控机床的运动和辅助动作均受控于数控系统发出的指令。而数控系统的指令是由程序员根据工件的材料、加工要求、机床的特性以及系统所规定的指令格式（数控语言或符号）编制的。所谓编程，就是把工件的工艺过程、工艺参数、运动要求用数字指令形式（数控语言）记录在介质上，并输入数控系统的过程。数控系统根据程序指令向伺服装置及其他功能部件发出运行或中断信息以控制机床的各种运动。当加工程序结束时，机床便会自动停止。任何一种数控机床，在其数控系统中若没有输入程序指令，数控机床就不能工作。

一、数控加工的基本过程

机床的受控动作通常包括机床的起动、停止，主轴的起停、旋转方向和转速的变换，进给运动的方向、速度、方式，刀具的选择、更换、长度及半径的补偿，切削液的开启、关闭等。图 1-1 所示为数控机床加工过程框图。

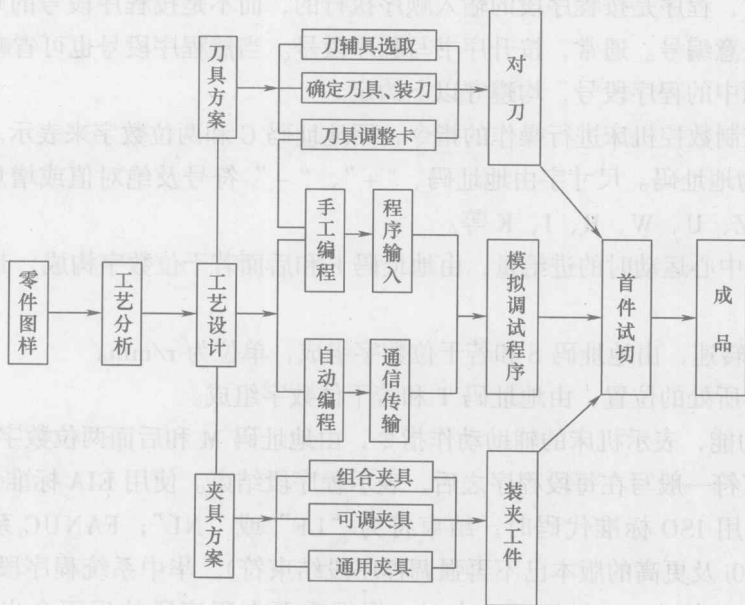


图 1-1 数控机床加工过程框图

从图 1-1 中可以看出,数控机床加工涉及的内容比较广,与相关的配套技术有密切的关系。合格的程序员首先应该是一个很好的工艺员,应能够熟练、准确地进行工艺分析和工艺设计,能够合理地选择切削用量,能正确地选择刀辅具并提出工件的装夹方案,了解数控机床的性能和特点,熟悉程序编制方法和程序输入方式。

二、数控编程的内容

数控编程的主要内容包括:

(1) 分析零件图样,确定工艺过程 包括确定加工方案,选择合适的机床、刀具及夹具,确定合理的进给路线及切削用量等。

(2) 数学处理 包括建立工件的几何模型、计算加工过程中刀具相对工件的运动轨迹等。随着计算机技术的发展,比较复杂的刀具运动轨迹的计算可以借助于计算机绘图软件(如 CAXA)来完成。数学处理的最终目的是为了获得编程所需要的所有相关位置坐标数据。

(3) 编写程序单 按照数控装置规定的指令和程序格式编写工件的加工程序单。

常规加工程序由开始符、程序名、程序主体和程序结束指令组成。程序名位于程序主体之前,一般独占一行,以英文字母 O 开头,后面紧跟 0~4 位数字。华中数控系统也可用 % 作开始符。

程序段的格式如下所示:

N _ G _ X _ Y _ Z _ F _ M _ S _ T _;

各个功能字的意义如下:

N 为程序段的编号,由地址码 N 和后面的若干位数字表示(例 N0010)。程序段的编号一般不连续排列,以 5 或 10 间隔,便于插入语句。

加工工件时,程序是按程序段的输入顺序执行的,而不是按程序段号的顺序执行,因此,程序段可任意编号。通常,按升序书写程序段号。当然程序段号也可省略。

本书中例题中的程序段号,均遵守以上约定。

G 功能是控制数控机床进行操作的指令,用地址码 G 和两位数字来表示。

X、Y、Z 为地址码。尺寸字由地址码、“+”、“-”符号及绝对值或增量值构成,地址码有 X、Y、Z、U、W、R、I、K 等。

F 表示刀具中心运动时的进给量,由地址码 F 和后面若干位数字构成,其单位是 mm/min 或 mm/r。

S 表示刀具转速,由地址码 S 和若干位数字组成,单位为 r/min。

T 表示刀具所处的位置,由地址码 T 和若干位数字组成。

M 为辅助功能,表示机床的辅助动作指令,由地址码 M 和后面两位数字组成。

程序段结束符一般写在每段程序之后,表示程序段结束。使用 EIA 标准代码时,结束符为“CR”;使用 ISO 标准代码时,结束符为“LF”或“NL”;FANUC 系统结束符为“;”。(FANUC Oi 及更高的版本已不再强调程序段结束符)。华中系统程序段没有结束符,输完一段程序直接按 Enter 键即可;有时,根据需要在程序段的后面会出现以“;”或“()”表示的注释符,括号 () 内的内容或分号;后的内容为注释文字。

(4) 制作程序介质并输入程序信息 加工程序可以存储在控制介质(如穿孔纸带、磁盘、U 盘)上,作为控制数控装置的输入信息。通常,若加工程序简单,可直接通过机床操作面板上的键盘输入;对于大型复杂的程序(如 CAD/CAM 系统生成的程序),往往需要由外部计算机通过通信电缆进行 DNC 传递。

(5) 程序校验和首件切削 编制的加工程序必须经过空运行、图形动态模拟或试切削等方法进行检验。一旦发现错误,应分析原因,及时修改程序或调整刀具补偿参数,直到加工出合格的工件。

三、数控编程方法

根据问题复杂程度不同,数控加工程序的编制有手工(人工)编程和自动编程之分。

1. 手工编程

手工编程是指零件图样分析、工艺处理、数值计算、编写程序和程序校验等均由人工完成。它要求编程人员不仅要熟悉数控指令及编程规则,还要具备数控加工工艺知识和数值计算能力。本书主要介绍手工编程的知识。

2. 自动编程

自动编程即计算机辅助编程,是指利用通用的微机及专用的自动编程软件,以人机对话方式确定加工对象和加工条件,自动进行运算并生成指令的编程过程。自动编程可分为以语言(APT)或绘图(CAD/CAM)为基础的自动编程方法。典型的 CAD/CAM 软件有 UGNX、Pro/E、MasterCAM、CAXA-ME 等。

自动编程适用于曲线轮廓、三维曲面等复杂型面的编程。由于购置编程软件及相应的微机需要大量资金,且其技术含量和技术难度也较大,这在一定程度上影响了自动编程的普及。

第二节 数控机床的坐标系

在数控机床上加工工件,刀具与工件的相对运动是以数字的形式来体现的,因此必须建立相应的坐标系,才能明确刀具与工件的相对位置。为了保证数控机床正确运动,保持工作的一致性,简化程序的编制方法,并使所编程序具有互换性,ISO 标准和我国国家标准都规定了数控机床坐标轴及其运动方向,这给数控系统和机床的设计、使用及维修带来了极大的方便。

一、机床坐标系

为了确定机床的运动方向和移动距离,就要在机床上建立一个坐标系,该坐标系就叫机床坐标系,也叫标准坐标系。机床坐标系是确定工件位置和机床运动的基本坐标系,是机床固有的坐标系。

二、机床坐标轴及相互关系

标准规定直线进给坐标轴用 X 、 Y 、 Z 表示,称为基本坐标轴。 X 、 Y 、 Z 轴的相互

关系符合右手笛卡儿法则,如图1-2所示,右手的大拇指、食指和中指保持相互垂直,拇指的指向为 X 轴的正方向,食指指向为 Y 轴的正方向,中指指向为 Z 轴的正方向。

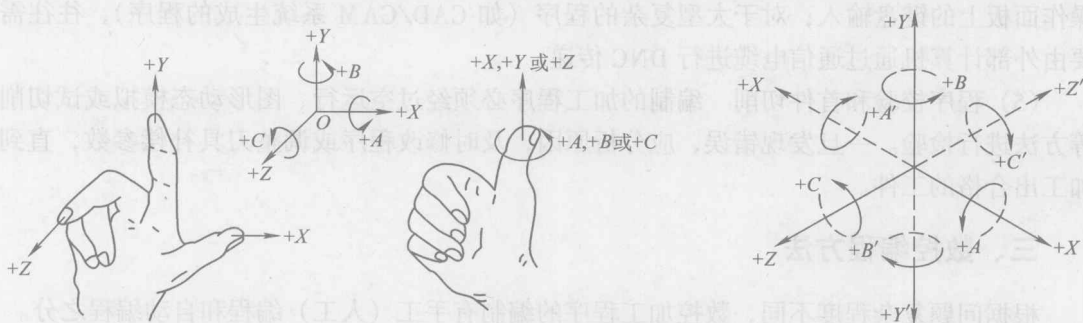


图 1-2 右手笛卡儿坐标系

围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示,根据右手螺旋定则,分别以大拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向,其余四指则分别指向 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 轴的旋转方向。

为便于编程和加工,如果还有平行于 X 、 Y 、 Z 坐标轴的坐标,有时还需设置附加坐标系,可以采用的附加坐标系有:第二组 U 、 V 、 W 坐标,第三组 P 、 Q 、 R 坐标。

三、机床坐标轴运动方向

为了便于编程,国际标准化组织对数控机床的坐标轴及其运动方向作了明确规定:不论数控机床的具体结构是工件静止、刀具运动,还是刀具静止、工件运动,都假定为工件不动,刀具相对于静止的工件作运动,且把刀具远离工件的方向作为坐标的正方向。

如果把刀具看作静止不动,工件相对于刀具移动,则在坐标轴的符号上加注“'”,如 X' 、 Y' 、 Z' 表示工件相对于刀具运动的坐标轴。按照相对运动的关系,工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反,即有

$$\begin{aligned} +X &= -X', \quad +Y = -Y', \quad +Z = -Z' \\ +A &= -A', \quad +B = -B', \quad +C = -C' \end{aligned}$$

同样,两者运动的负方向也彼此相反。

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局,机床坐标系 X 、 Y 、 Z 轴的判定方法如下:

(1) 先确定 Z 轴 通常把传递切削力的主轴定为 Z 轴。对于工件旋转的机床,如车床、磨床等,工件转动的轴为 Z 轴;对于刀具旋转的机床,如镗床、铣床、钻床等,刀具转动的轴为 Z 轴,如图 1-3 所示。 Z 轴的正方向为刀具远离工件的方向。

(2) 再确定 X 轴 X 轴一般平行于工件装夹面且与 Z 轴垂直。对于工件旋转的机床,如车床、磨床等, X 坐标的方向在工件的径向上,且平行于横向滑座,刀具远离工件旋转中心的方向为 X 轴的正向。对于刀具旋转的机床,如铣床、镗床、钻床等,若 Z 轴是垂直的,面对刀具主轴向立柱看时, X 轴正向指向右;若 Z 轴是水平的,当从主轴向工件

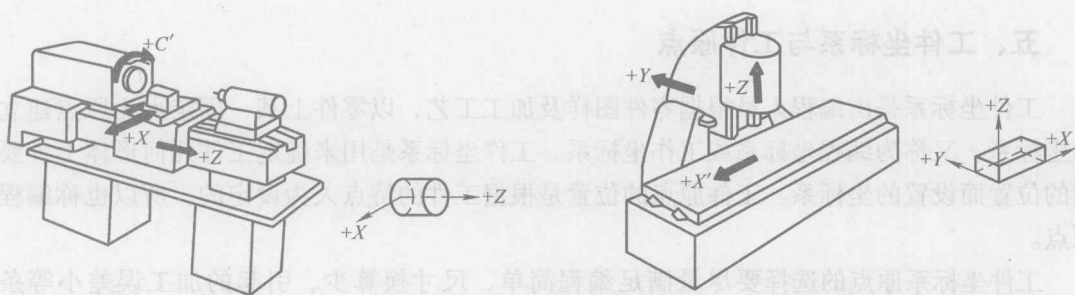


图 1-3 数控机床的标准坐标系

看时, X 轴正向指向右。

(3) 最后确定 Y 轴 在确定了 X 、 Z 轴正方向之后, 可按右手笛卡儿法则确定 Y 轴及其正方向。

四、机床原点与机床参考点

机床原点又称为机械原点, 是机床坐标系的原点。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。

机床原点是通过机床参考点间接确定的。机床参考点也是机床上一个固定的点, 它与机床原点之间有一确定的相对位置, 一般设置在刀具运动的 X 、 Y 、 Z 轴正向最大极限位置, 其位置由机械挡块确定。机床参考点已由机床制造厂测定后输入数控系统, 并且记录在机床说明书中, 用户不得更改。

数控机床通电时并不知道机床原点的位置, 在机床每次通电之后、工作之前, 必须进行回零操作, 使刀具或工作台退回到机床参考点, 以建立机床坐标系。当完成回零操作后, 显示器即显示出机床参考点在机床坐标系中的坐标值, 表明机床坐标系已自动建立。可以说, 回零操作是对基准的重新核定, 可消除多种原因产生的基准偏差。

一般地, 数控机床的机床原点和机床参考点重合, 如华中数控机床。也有些数控机床的机床原点与机床参考点不重合。数控车床的机床原点有的设在卡盘后端面的中心; 数控铣床机床原点的设置, 各生产厂不一致, 有的设在机床工作台中心, 有的设在进给行程的终点, 如图 1-4 所示。

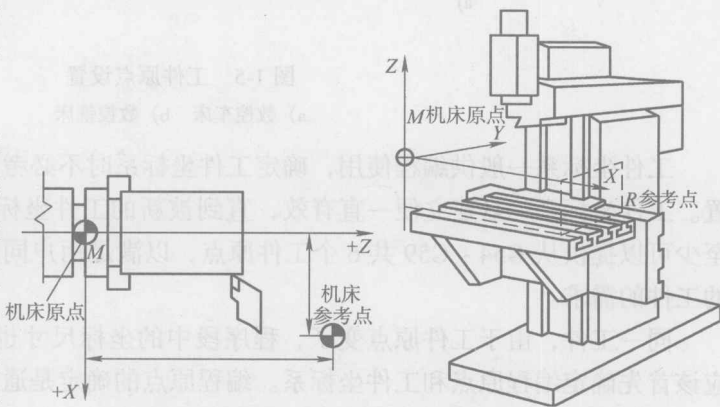


图 1-4 数控机床的机床原点与机床参考点

五、工件坐标系与工件原点

工件坐标系是由编程人员根据零件图样及加工工艺,以零件上某一固定点为原点建立的坐标系,又称为编程坐标系或工作坐标系。工件坐标系是用来确定工件几何形体上各要素的位置而设置的坐标系。工件原点的位置是根据工件的特点人为设定的,所以也称编程原点。

工件坐标系原点的选择要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件。一般情况下,以坐标式尺寸标注的零件,选设计基准点作为编程原点;对称零件或以同心圆为主的零件,编程原点应选在对称中心线或圆心上。

在数控车床上加工工件时,工件原点一般设在主轴中心线与工件右端面(或左端面)的交点处,如图 1-5a 所示。

在数控铣床上加工工件时,工件原点应选在零件图的尺寸基准上。对于对称零件,工件原点应设在对称中心上;对于一般零件,工件原点设在进刀方向一侧工件外轮廓的某个角上,这样,便于计算坐标值。 Z 轴的编程原点通常设在工件的上表面,并尽量选在精度较高的工件表面,如图 1-5b 所示。

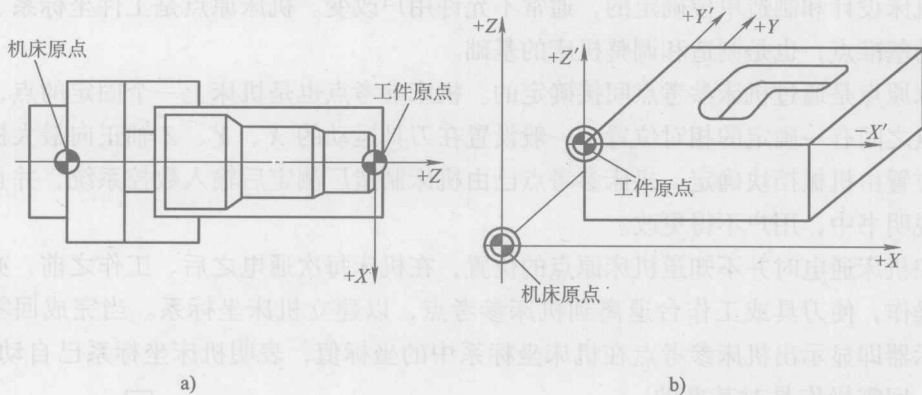


图 1-5 工件原点设置

a) 数控车床 b) 数控铣床

工件坐标系一般供编程使用,确定工件坐标系时不必考虑工件在机床上的实际装夹位置。工件坐标系一旦建立便一直有效,直到被新的工件坐标系所取代。FANUC 数控系统至少可以提供从 G54 ~ G59 共 6 个工件原点,以满足用户同时加工多个相同或者不同类型的工件的需求。

同一工件,由于工件原点变了,程序段中的坐标尺寸也随之改变,因此数控编程时,应该首先确定编程原点和工件坐标系。编程原点的确定是通过对刀来完成的,对刀的过程就是建立工件坐标系与机床坐标系之间关系的过程。

六、对刀与对刀点

在数控加工中,工件坐标系确定后,还要确定刀位点在工件坐标系中的位置。每把刀

的半径与长度尺寸都是不同的, 刀具装在机床(刀架)上后, 应在控制系统中设置刀具的基本位置, 即常说的对刀。

数控机床的装备不同, 所采用的对刀方法也不同。如果数控机床自带对刀仪或配有机外对刀仪, 那么对刀就比较简单, 对刀精度也较高; 否则, 只能采用手动对刀, 对刀过程相对复杂, 效率也低。在数控车床上, 常用的对刀方法为试切对刀。工件坐标系的确定, 通常是通过对刀过程来实现的。对刀的目的是确定工件原点在机床坐标系中的位置。

对刀有以下作用:

1) 通过对刀使刀具与机床、夹具和工件之间建立起联系, 有效地保证了零件的机械加工精度, 使工艺系统成为一个整体。

2) 通过对刀设置相应的刀具偏置补偿值, 解决了多刀加工中各刀的刀位点位置不同的问题。

3) 对刀的过程也是建立工件坐标系的过程。

对刀点是指通过对刀确定刀具与工件相对位置的基准点。对刀点可以设在工件上, 也可以设在与工件的定位基准有一定关系的夹具某一位置上。当对刀精度要求较高时, 对刀点应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上; 对于以孔定位的工件, 一般取孔的中心为对刀点。对刀点往往与工件原点重合。

七、绝对坐标和相对坐标编程

数控加工程序中表示几何点的坐标位置有绝对值和增量值两种方式。绝对坐标是指点的坐标值是相对于“工件原点”计量的。相对坐标又叫增量坐标, 是指运动终点的坐标值是以“前一点”的坐标为起点来计量的。

编程时要根据零件的加工精度要求及编程方便与否选用坐标类型。在数控程序中, 绝对坐标与增量坐标可单独使用, 也可在不同程序段上交叉设置使用, 有的系统还可以在同一程序段中混合使用。使用原则主要是看用哪种方式编程更方便, 如图 1-6 和表 1-1 所示。

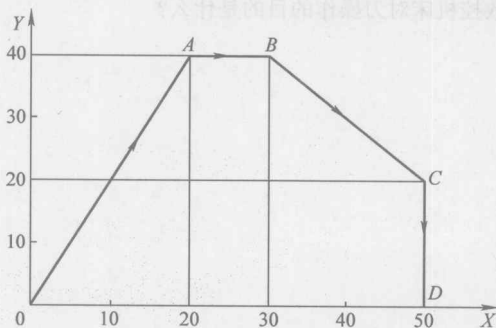


图 1-6 点的运动轨迹

表 1-1 绝对坐标与相对坐标

运动轨迹	绝对坐标		相对坐标	
	X	Y	X	Y
O	0	0	0	0
A	20	40	20	40

(续)

运动轨迹	绝对坐标		相对坐标	
	X	Y	X	Y
B	30	40	10	0
C	50	20	20	-20
D	50	0	0	-20

注意：有些数控系统没有绝对值和增量值指令，当采用绝对值方式编程时，尺寸字用 X、Y、Z 表示；采用增量值方式编程时，尺寸字改用 U、V、W 表示。数控车床编程通常采用 U、V、W 表示增量坐标。

数控车床上 X 轴向的坐标值不论是绝对值还是增量值，一般都用直径值表示（称为直径编程），这样会给编程带来方便。此时，刀具的实际移动距离是直径值的一半。

习 题 一

1-1 简述数控机床加工（从分析零件图到加工出零件）的整个过程。

1-2 数控编程包括哪些内容？

1-3 数控机床的坐标系是如何规定的？

1-4 如何确定机床坐标轴的方向？

1-5 什么是刀具绝对运动原则？

1-6 什么是机床坐标系和工件坐标系？说明二者的区别与联系。

1-7 什么是机床原点和机床参考点？二者有什么联系？

1-8 绝对坐标编程及增量坐标编程有何区别？试举例说明。

1-9 数控机床对刀操作的目的是什么？

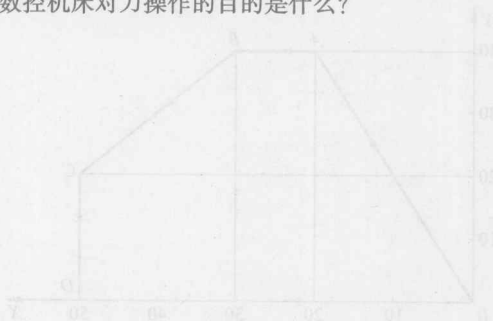


图 1-1 零件图

图 1-1 零件图

绝对坐标		增量坐标		绝对坐标
X	Z	U	W	
0	0	0	0	0
40	20	40	20	40

第二章 数控车床编程与操作

第一节 数控车削加工工艺

一、数控车削的主要加工对象

数控车床是目前使用最广泛的数控机床之一。数控车床主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过执行数控程序,可以自动完成内(外)圆柱面、任意角度的内(外)圆锥面、成形表面和圆柱、圆锥螺纹以及端面等工序的切削加工,并能进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔及镗孔等切削加工。由于数控车床具有加工精度高、能做直线和圆弧插补以及在加工过程中能自动变速的特点,因此数控车削加工的工艺范围较普通车床宽得多。数控车削中心和数控车铣中心可在一次装夹中完成更多的加工工序,提高了加工精度和生产效率。

与常规加工相比,数控车削的加工对象具有如下特点:

1. 精度要求高的回转体零件

由于数控车床具有刚性好,制造精度和对刀精度高,可方便精确地进行人工补偿和自动补偿的特点,所以能加工尺寸精度要求较高的零件,在有些场合可以以车代磨。此外,数控车削的刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的,所以它能加工直线度、圆度、圆柱度等形状精度要求高的零件。数控车削的工序集中,减少了工件的装夹次数,还有利于提高零件的位置精度。图 2-1 所示的轴承内圈,原来采用三台液压半自动车床和一台液压仿形车床加工,需多次装夹,因而造成较大的壁厚差,达不到图样要求,后改用数控车床加工,一次装夹即完成滚道和内孔的车削,壁厚差大为减少,且加工质量稳定。

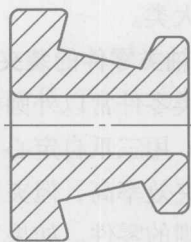


图 2-1 轴承内圈示意图

2. 表面质量要求高的回转体零件

数控车床具有恒线速度切削功能,能加工出表面粗糙度 R_a 值小而均匀的零件。在材质、精车余量和刀具已确定的情况下,表面粗糙度取决于进给量和切削速度。使用数控车床的恒线速度切削功能,可选用最佳线速度来切削锥面和端面,使车削后的表面粗糙度 R_a 值既小又一致。数控车削还适合于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件,表面粗糙度 R_a 值要求大的部位选用大的进给量,要求小的部位选用小的进给量。

3. 表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能,所以可以车削任意直线和曲线组成的形状复

杂的回转体零件。如图 2-2 所示的壳体零件内腔的成形面，在普通车床上是无法加工的，而在数控车床上则很容易加工出来。

4. 带特殊螺纹的回转体零件

普通车床所车削的螺纹相当有限，它只能车削等导程的圆柱（锥面）米（英）制螺纹，而且一台车床只能限定加工若干种导程。但数控车床能车削增导程、减导程以及要求等导程和变导程之间平滑过渡的螺纹。数控车床车削螺纹时，主轴转向不必像普通车床那样交替变换，可以一刀接一刀地循环切削，直到完成，所以车削螺纹的效率很高。数控车床可配备精密螺纹切削功能，再加上采用硬质合金成形刀片、使用较高的转速，所以车削的螺纹精度高、表面粗糙度 R_a 值小。

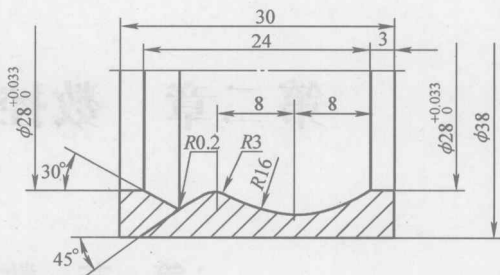


图 2-2 成形内腔零件示例

二、工件在数控车床上的装夹

在数控车床上加工零件，应按工序集中的原则划分工序，在一次装夹下尽可能完成大部分甚至全部表面的加工。根据零件的结构形状不同，通常选择外圆装夹，并力求使设计基准、工艺基准和编程基准统一。

为了充分发挥数控机床高速度、高精度、高效率的特点，在数控加工中，还应有与数控加工相适应的夹具相配合，数控车床夹具可分为用于轴类工件的夹具和用于盘类工件的夹具两大类。

1. 轴类零件的装夹

轴类零件常以外圆柱表面作定位基准来装夹。

(1) 用三爪自定心卡盘装夹 三爪自定心卡盘能自动定心，工件装夹后一般不需要找正，装夹效率高，但夹紧力较四爪单动卡盘小，只限于装夹圆柱形、正三角形、六边形等形状规则的零件。如果工件伸出卡盘较长，仍需找正。

(2) 用四爪单动卡盘装夹 由于四爪单动卡盘的四个卡爪是各自独立运动的，因此必须通过找正使工件的旋转中心与车床主轴的旋转中心重合，才能车削。四爪单动卡盘的夹紧力较大，适合于装夹形状不规则及直径较大的工件。

(3) 在两顶尖间装夹 对于长度较长或必须经过多次装夹加工的轴类零件；或工序较多，车削后还要铣削和磨削的轴类零件，应采用两顶尖装夹，以保证每次装夹时的装夹精度。

(4) 用一夹一顶装夹 由于两顶尖装夹刚性较差，因此在车削一般轴类零件，尤其是较重的工件时，常采用一夹一顶装夹。为了防止工件的轴向位移，须在卡盘内装一限位支承，或利用工件的台阶作限位。由于一夹一顶装夹工件的安装刚性好，轴向定位正确，且比较安全，能承受较大的轴向切削力，因此应用很广泛。

除此以外，根据零件的结构特征，轴类零件还可以采用自动夹紧拨动卡盘、自定心中心架和复合卡盘装夹。

2. 盘类零件的装夹

用于盘类工件的夹具主要有可调卡爪式卡盘和快速可调卡盘两种。快速可调卡盘的结构刚性好,工作可靠,因而广泛用于装夹法兰等盘类及杯形工件,也可用于装夹不太长的柱类工件。

在数控车削加工中,常采用以下装夹方法来保证工件的同轴度、垂直度要求。

(1) 一次安装加工 它是在一次安装中把工件全部或大部分尺寸加工完的一种装夹方法。此方法没有定位误差,可获得较高的形位精度,但需经常转换刀架,变换切削用量,尺寸较难控制。

(2) 以外圆为定位基准装夹 工件以外圆为基准保证位置精度时,零件的外圆和一个端面必须在一次安装中进行精加工后,方能作为定位基准。以外圆为基准时,常用软卡爪装夹工件。

(3) 以内孔为定位基准装夹 中小型轴套、带轮、齿轮等零件,常以工件内孔作为定位基准安装在心轴上,以保证工件的同轴度和垂直度。常用的心轴有实体心轴和胀力心轴两种。

三、切削用量的选择

数控车削加工中的切削用量包括背吃刀量 a_p 、主轴转速 n 或切削速度 v_c (用于恒线速度切削)、进给速度 v_f 或进给量 f 。这些参数均应在机床给定的允许范围内选取。

1. 切削用量的选用原则

切削用量的选择原则是:粗车时,应尽量保证较高的金属切除率和必要的刀具寿命。应首先选取尽可能大的背吃刀量 a_p ,其次根据机床动力和刚性的限制条件,选取尽可能大的进给量 f ,最后根据刀具寿命要求,确定合适的切削速度 v_c 。增大背吃刀量 a_p 可使进给次数减少,增大进给量 f 有利于断屑。

精车时,对加工精度和表面粗糙度要求较高,加工余量小且较均匀。选择切削用量应着重考虑如何保证加工质量,并在此基础上尽量提高生产率。因此,应选用较小(但不能太小)的背吃刀量和进给量,并选用性能高的刀具材料和合理的几何参数,以尽可能提高切削速度。

(1) 背吃刀量的确定 粗加工时,除留下精加工余量外,一次进给尽可能切除全部余量。在加工余量过大、工艺系统刚性较低、机床功率不足、刀具强度不够等情况下,可分多次进给。切削表面有硬皮的铸锻件时,应尽量使 a_p 大于硬皮层的厚度,以保护刀尖。

精加工的加工余量一般较小,可一次切除。

在中等功率机床上,粗加工的背吃刀量可达 $8 \sim 10\text{mm}$;半精加工的背吃刀量取 $0.5 \sim 5\text{mm}$;精加工的背吃刀量取 $0.2 \sim 1.5\text{mm}$ 。

(2) 进给速度(进给量)的确定 进给速度是数控机床切削用量中的重要参数,主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件的材料性质选取,最大进给速度受机床刚度和进给系统的性能限制。