



全国高等职业教育规划教材

数控加工编程与操作

杨显宏 主编



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



全国高等职业院校教材

数控加工编程与操作

第2版 王明



机械工业出版社

全国高等职业教育规划教材

数控加工编程与操作

杨显宏 主编

董军辉 参编

曹 凤 主审



机械工业出版社

本书贯彻了高职高专教育“以技能型应用性人才培养为主，重在实践”的原则，取材适当、理论联系实际、内容丰富，书中配有大量的实例、实训项目与习题。

全书共6章，主要内容包括数控机床加工程序的编制基础与基本操作、数控车床加工程序的编制与实训操作、数控铣床与铣削中心加工程序的编制与实训操作、用户宏程序与实训操作、数控电火花线切割机床加工程序的编制与实训操作和自动编程。

本书可作为高职高专院校、中等职业技术学校的数控技术等机械类相关专业的教材，也可作为工程技术人员自学用书，还可作为数控机床编程、工艺及操作人员的理论指导和技术参考书。

为配合教学，本书配有电子课件，读者可以登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费注册后下载，或联系编辑索取（QQ：81922385，电话：（010）88379739）。

图书在版编目（CIP）数据

数控加工编程与操作/杨显宏主编. —北京：机械工业出版社，2011.1
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-32784-4

I. ①数… II. ①杨… III. ①数控机床—程序设计—高等学校：技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 250424 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：石陇辉 章承林 版式设计：霍永明

责任校对：李秋荣 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2011 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.5 印张·306 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-32784-4

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

电话服务

网络服务

社服务中心：（010）88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：（010）68326294

销售二部：（010）88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者服务部：（010）68993821

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 机电类专业编委会成员名单

主 任 吴家礼

副 主 任 任建伟 张 华 陈剑鹤 韩全立 盛靖琪 谭胜富

委 员 (按姓氏笔画排序)

王启洋	王国玉	王晓东	代礼前	史新民	田林红
龙光涛	任艳君	刘靖华	刘 震	吕 汀	纪静波
何 伟	吴元凯	张 伟	李长胜	李 宏	李柏青
李晓宏	李益民	杨士伟	杨华明	杨 欣	杨显宏
陈文杰	陈志刚	陈黎敏	苑喜军	金卫国	奚小网
徐 宁	陶亦亦	曹 凤	盛定高	程时甘	韩满林

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 郝秀凯

出版说明

根据“教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见”中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多个品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

随着现代数控技术的发展,各种数控机床已广泛应用于机械制造业中,机械制造企业迫切需要大量训练有素、熟悉数控加工编程技术的工程技术人员。我们借鉴国内外的先进技术和经验,结合多年来的教学实践编写了本书。

本书在编写中本着“实际”、“实用”、“实效”的原则,突出基本概念、基本方法和基本训练,力求做到结构合理、内容充实、文字精练。全书共6章,可分为3个部分:第1部分为第1章,讲述数控机床加工程序编制的基础知识;第2部分为第2章和第3章,讲述数控车削与铣削等常用数控机床加工程序编制的相关内容;第3部分为第4~6章,讲述数控机床的宏程序与自动编程。

本书可作为高职高专院校、中等职业技术学校的数控技术等机械类相关专业的教材,也可作为工程技术人员自学用书,还可作为数控机床编程、工艺及操作人员的理论指导和技术参考书。

本书由成都电子机械高等专科学校杨显宏主编,并编写了第3章、第4章、第5章和第6章,董军辉编写了第1章和第2章。曹凤教授主审。

限于编者的水平,书中不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 数控机床加工程序的编制基础

与基本操作 1

1.1 数控编程的概念 1

1.1.1 数控编程的步骤和方法 1

1.1.2 字符与代码 2

1.1.3 字与字的功能类别 3

1.1.4 程序段格式 4

1.2 数控机床的坐标系 5

1.2.1 坐标系及运动方向 5

1.2.2 坐标系的原点 7

1.2.3 绝对坐标系和增量坐标系 8

1.3 实训 机床基本操作 9

1.3.1 数控车床基本操作 9

1.3.2 数控铣床基本操作 13

1.4 数控加工的工艺设计 18

1.4.1 数控加工工艺内容的选择 18

1.4.2 数控加工工艺性分析 18

1.4.3 数控加工工艺路线的设计 19

1.4.4 数控加工工序的设计 20

1.4.5 数控加工专用技术文件的编写 24

1.5 程序编制中的数学处理 27

1.5.1 选择原点、换算尺寸 27

1.5.2 基点与节点 28

1.5.3 非圆曲线的逼近处理 29

1.5.4 程序编制中的误差 30

练习与思考 30

第2章 数控车床加工程序的编制与

实训操作 32

2.1 数控车床加工程序编制的基本

方法 32

2.1.1 F 功能 32

2.1.2 T 功能 32

2.1.3 M 功能 33

2.1.4 G 功能 34

2.2 实训1 数控车削基本编程与

操作 39

2.2.1 外圆与端面加工 39

2.2.2 锥度与倒角加工 42

2.2.3 圆弧加工 45

2.3 固定循环指令 46

2.3.1 单一固定循环指令 46

2.3.2 复合固定循环指令 48

2.3.3 螺纹切削指令 53

2.4 刀尖圆弧半径补偿及子程序的

应用 57

2.4.1 刀尖圆弧半径补偿 57

2.4.2 子程序的应用 58

2.5 典型零件加工程序的编制 59

2.6 实训2 螺纹与切槽加工 63

练习与思考 65

第3章 数控铣床与铣削中心加工程序

的编制与实训操作 67

3.1 数控铣床加工程序编制的基础 67

3.1.1 数控铣床的主要功能及

加工对象 67

3.1.2 数控铣床工艺装备 68

3.1.3 数控铣削工艺性分析 70

3.1.4 编程时应注意的问题 73

3.2 数控铣削加工程序编制的基本

方法 75

3.2.1 FANUC-0i-Mate-MC 系统简述 75

3.2.2 基本编程指令的应用 78

3.3 实训1 数控铣削基本编程与

操作 94

3.3.1 直线轮廓加工 94

3.3.2 圆弧轮廓加工 96

3.3.3 内外轮廓加工 98

3.4 子程序的应用 100

3.4.1 子程序的基本概念 100

3.4.2 M98——子程序的调用 100

3.5 实训2 平面加工	102	5.1.2 数控电火花线切割的加工特点 ...	144
3.6 固定循环功能	104	5.2 编程前的工艺准备	145
3.6.1 固定循环的基本概念	104	5.2.1 数控电火花线切割机床简介	145
3.6.2 固定循环的编程格式	104	5.2.2 数控线切割编程中的工艺处理 ...	146
3.6.3 常用孔加工的固定循环	105	5.3 手工编制程序	150
3.6.4 孔加工实例	109	5.3.1 3B 指令编程	150
3.7 典型零件的程序编制	111	5.3.2 G 代码编程	152
3.7.1 平面凸轮的数控铣削工艺分析 及程序编制	111	5.4 自动编制程序	157
3.7.2 壳体零件加工的编程	112	5.5 实训 凸模类零件加工	161
3.8 实训3 方形孔板类零件加 工	116	练习与思考	163
练习与思考	117	第6章 自动编程	164
第4章 用户宏程序与实训操作	121	6.1 自动编程概述	164
4.1 用户宏程序概述	121	6.1.1 自动编程的基本原理	164
4.1.1 概念	121	6.1.2 自动编程的主要特点	165
4.1.2 变量及变量的使用方法	122	6.1.3 自动编程的分类	166
4.1.3 变量的种类	123	6.2 CAD/CAM 集成数控编程系统的 应用	170
4.2 A 类型的用户宏程序	125	6.2.1 熟悉系统的功能与使用方法	170
4.2.1 宏指令 G65	125	6.2.2 分析加工零件	170
4.2.2 宏指令的应用	129	6.2.3 对待加工表面及其约束面进行 几何造型	171
4.3 B 类型的用户宏程序	132	6.2.4 确定工艺步骤并选择合适的 刀具	171
4.3.1 调用指令	132	6.2.5 刀具轨迹生成及刀具轨迹编辑 ...	171
4.3.2 控制指令	134	6.2.6 刀具轨迹验证	171
4.3.3 刀具补偿量的读取	134	6.2.7 后置处理	172
4.3.4 运算指令	134	6.3 Mastercam 系统的应用	172
4.3.5 圆周点阵孔群的加工	134	6.3.1 二维零件数控加工编程	172
4.3.6 直线点阵孔群的加工	135	6.3.2 三维加工编程	177
4.3.7 网式点阵孔群的加工	136	6.4 CimatronE 系统的应用	180
4.4 实训 椭圆轮廓的加工	139	6.4.1 二维零件数控加工编程	180
练习与思考	143	6.4.2 三维零件数控加工编程	183
第5章 数控电火花线切割机床加工程序 的编制与实训操作	144	6.4.3 图形交互自动编程的基本步骤 ...	186
5.1 数控电火花线切割加工原理与 特点	144	6.5 实训 曲面零件加工	187
5.1.1 数控电火花线切割的加工原理 ...	144	练习与思考	189
		参考文献	191

第 1 章 数控机床加工程序的编制基础与基本操作

数控机床是一种高效的自动化加工设备，它严格按照加工程序，自动地对被加工工件进行加工。从数控系统外部输入的直接用于加工的程序称为数控加工程序，简称为数控程序，它是机床数控系统的应用软件。

数控系统的种类繁多，使用的数控程序语言规则和格式也不尽相同，本书主要根据 ISO 标准介绍加工程序的编制方法。当针对某一台数控机床编制加工程序时，应该严格按机床编程手册中的规定进行程序编制。

1.1 数控编程的概念

在编制数控加工程序前，应首先了解数控程序编制的工作步骤和每一步应遵循的工作原则等，才能获得满足要求的数控程序。

1.1.1 数控编程的步骤和方法

编制数控加工程序是使用数控机床的一项重要技术工作，理想的数控程序不仅应该保证加工出符合零件图样要求的合格零件，还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥，使数控机床能安全、可靠、高效地工作。

用数控机床对零件进行加工时，首先要对零件进行加工工艺分析，以确定加工方法和加工工艺路线，正确地选择数控机床刀具和装夹方法；然后，按照加工工艺要求，根据所用数控机床规定的指令代码及程序格式，将刀具的运动轨迹、位移量、切削参数以及辅助功能编写成加工程序单，传送或输入到数控装置中，从而使数控机床自动对工件进行加工。这种从分析工件图到获得加工程序单的全过程叫数控程序的编制，简称数控编程。

1. 数控编程的步骤

一般来说，数控编程过程如图 1-1 所示。

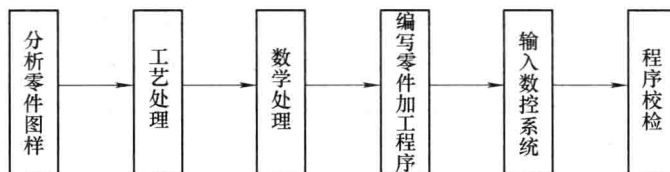


图 1-1 数控编程过程

数控编程的具体步骤与要求如下：

(1) 分析零件图样和工艺处理 这一步要对零件图样进行分析，以明确加工的内容及要求、确定加工方案、选择合适的数控机床、设计夹具、选择刀具、确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。

(2) 数学处理 在完成了工艺处理的工作之后，下一步需根据零件的几何尺寸、加工

路线和刀具半径补偿方式计算刀具运动轨迹,以获得刀位数据。

(3) 编写零件加工程序、输入数控系统及程序校验 在完成工艺处理和数值计算之后,程序员使用数控系统的程序指令,按照规定的程序格式,逐段编写零件加工程序单。程序员应对数控机床的性能、程序指令及代码非常熟悉,才能编写出正确的零件加工程序。对于形状复杂、工序很长、计算繁琐的零件需采用计算机辅助数控编程。

2. 数控编程的方法

数控编程的方法主要有两种:手工编程和自动编程。

(1) 手工编程 手工编程是程序员直接通过人工完成从零件图工艺分析、工艺和数据处理、计算和编写数控程序、输入数控程序到程序验证整个过程的方法。

手工编程适合于几何形状不太复杂、程序计算量较少的零件的数控编程。相对而言,手工编程的数控程序较短,编制程序的工作量较少。因此,手工编程广泛用于形状简单的点位加工和直线、圆弧组成的平面轮廓加工中。

(2) 自动编程 自动编程是指在编程过程中,除了分析零件图样和制订工艺方案由人工进行外,其余工作均由计算机辅助完成。

采用计算机自动编程时,数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的。由于计算机可自动绘制出刀具中心运动轨迹,使编程人员可及时检查程序是否正确,需要时可及时修改,以获得正确的程序;又由于计算机自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算,可提高编程效率几十倍乃至上百倍,因此解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。自动编程的特点就在于编程工作效率高,可解决复杂形状零件的编程难题。

根据输入方式的不同,可将自动编程分为图形数控自动编程、语言数控自动编程和语音数控自动编程等。图形数控自动编程是指将零件的图形信息直接输入计算机,通过自动编程软件的处理,得到数控加工程序。语言数控自动编程指将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后,输入到计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。语音数控自动编程是采用语音识别器,将编程人员发出的加工指令声音转变为加工程序。

现在广泛使用的自动编程是 CAD/CAM 图形交互自动编程。CAD/CAM 图形自动编程系统的特点是利用 CAD 软件的图形编辑功能将零件的几何图形绘制到计算机上,在图形交互方式下进行定义、显示和编辑,得到零件的几何模型,然后调用 CAM 数控编程模板,采用人机交互的方式定义几何体、创建加工坐标系、定义刀具、指定被加工部位、输入相应的加工参数、确定刀具相对于零件表面的运动方式、确定加工参数、生成进给轨迹,经过后置处理生成数控加工程序。整个过程一般都是在计算机图形交互环境下完成的,具有形象、直观和高效的优点。

1.1.2 字符与代码

为了满足设计、制造、维修和普及的需要,在输入代码、坐标系统、程序格式、加工指令及辅助功能等方面,国际上已经形成了两种通用标准,即国际标准化组织(ISO)标准和美国电子工业协会(EIA)标准,它们分别称为 ISO 代码和 EIA 代码。我国根据 ISO 标准制定了 JB/T3051—1999《数控机床 坐标和运动方向的命名》、JB/T3208—1999《数控机床

穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 的代码》等。但是由于各个数控机床生产厂家所用的标准尚未完全统一，其所用的代码、指令及其含义不完全相同，因此在编程时必须按所用数控机床编程手册中的规定进行。

1.1.3 字与字的功能类别

1. 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。

2. 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，请遵照机床的数控系统说明书来使用各个功能字。

(1) 顺序号字 顺序号字也称程序段号或程序段序号或序号。它是数控加工程序中用得最多、但又最不容易引起人们重视的一种程序字。顺序号字一般位于程序段开头，它由地址符 N 和随后的 1~4 位数字组成。顺序号字可以用在主程序、子程序和用户宏程序中。使用顺序号字应注意如下的问题：数字部分应为正整数，所以最小顺序号是 N1，建议不使用 N0；顺序号字的数字可以不连续使用，也可以不从小到大使用；顺序号字不是程序段必用字，对于整个程序，可以每个程序段均有顺序号字，也可以均没有顺序号字，也可以部分程序段设有顺序号字。

顺序号字的作用：①便于人们对程序作校对和检索修改；②用于加工过程中的显示屏显示；③便于程序段的复归操作，此操作也称“再对准”，如回到程序的中断处，或加工从程序的中途开始的操作；④在主程序、子程序或宏程序中用于条件转向或无条件转向的目标。

(2) 准备功能字 在数控机床中，准备功能 G 指令用来规定刀具和工件的相对运动的轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作，为数控机床的插补运动做准备。JB/T3208—1999 规定：G 指令由字母 G 及其后面的两位数字来组成，从 G00 ~ G99 共有 100 个代码。

G 指令（代码）有两种：模态指令（代码）和非模态指令（代码）。模态代码又称续效代码，模态代码一经在一个程序段中指定，便保持到以后程序段中直到出现同组的另一代码时才失效。非模态代码只在所出现的程序段有效。

(3) 尺寸字 尺寸字也称尺寸指令。尺寸字在程序段中主要用来指令机床的刀具运动到达的坐标位置。尺寸字是由规定的地址符及后续的带正、负号或者带正、负号又有小数点的多位十进制数组成。地址符用得较多的有三组：第一组是 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R，主要用来指令到达点坐标值或距离；第二组是 A、B、C、D、E，主要是用来指令到达点的角度坐标；第三组是 I、J、K，主要用来指令零件圆弧轮廓圆心点的坐标尺寸。

多数数控系统可以用准备功能字来选择坐标尺寸的制式，如 FANUC 诸系统可用 G21/G22 来选择米制单位或英制单位，也有些系统用系统参数来设定尺寸制式。采用米制时，单位一般为 mm，如 X100 指令的坐标单位为 100mm。当然，一些数控系统可通过参数来选择不同的尺寸单位。

(4) 进给功能字 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。对于车床，F 可分为每分钟进给和主轴每转进给两种；对于其他数控机床，一般只用每分钟进给。F 指令在螺纹切削程序段中常用来指令螺纹的导程。

(5) 主轴转速功能字 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，单位为 r/min 。对于具有恒线速度功能的数控车床，程序中的 S 指令用来指定车削加工的线速度。

(6) 刀具功能字 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。对于数控车床，其后的数字还兼作指定刀具长度补偿和刀尖半径补偿用。

(7) 辅助功能字 辅助功能 M 指令是用于指定主轴的旋转方向、起动、停止、切削液的开关、工件或刀具的夹紧或松开等功能，属于工艺性指令。

1.1.4 程序段格式

1. 加工程序的结构

(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
.....
N300 M30
%           结束符
```

} 程序主体

2. 程序段格式

程序段是可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。一个数控加工程序是若干个程序段组成的，程序中的每一行均为一个程序段。

目前国内外广泛采用字地址可变程序段格式，又称为字地址格式。在这种格式中，程序字长是不固定的，程序字的个数也是可变的，绝大多数数控系统允许程序字的顺序是任意排列的，故属于可变程序段格式。但是，在大多数场合，为了书写、输入、检查和校对的方便，程序字在程序段中习惯按一定的顺序排列。程序段的基本格式如下：

N _ G _ X _ Y _ Z _ F _ S _ T _ M _；

说明：N 为顺序号，G 为准备功能，X、Y、Z 为坐标，F 为进给功能，S 为主轴转速，T 为刀具功能，M 为辅助功能。

例如：N001 G01 X70.0 Z-40.0 F0.7 S300 M03 T0101；其含义为命令数控机床使用一号刀具，以 $0.7mm/r$ 的进给量，主轴正向旋转以转速 $300r/min$ 加工工件，刀具直线位移至 $X=70mm$ 、 $Z=-40mm$ 处。

1.2 数控机床的坐标系

在数控编程时,为了描述机床的运动,简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性,数控机床的坐标系和运动方向均已标准化,ISO 和我国都拟定了命名的标准。数控加工是基于数字的加工,刀具与工件的相对位置必须在相应的坐标下才能确定。数控机床的坐标系包括坐标系、运动方向和坐标原点,对于数控工艺制订、编程及操作是一个十分重要的概念。

1.2.1 坐标系及运动方向

1. 机床坐标系

(1) 机床相对运动的规定 在机床上,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具体运动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床的加工过程。

(2) 机床坐标系的规定 标准机床坐标系中 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手直角笛卡儿坐标系决定。

在数控机床上,机床的动作是由数控装置来控制的,为了确定数控机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。

例如在立式数控铣床上,有机床的纵向运动、横向运动以及垂向运动,如图 1-2 所示。在数控加工中就应该用机床坐标系来描述。标准机床坐标系中 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手直角笛卡儿坐标系决定,如图 1-3 所示。

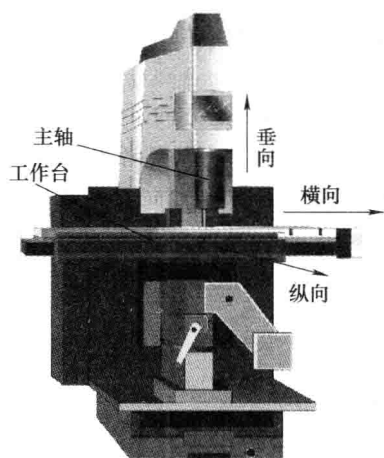


图 1-2 立式数控铣床

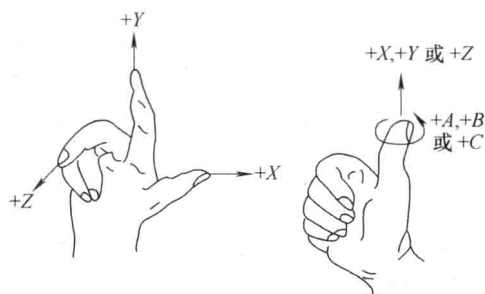


图 1-3 右手直角笛卡儿坐标系

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。图 1-4 所示为数控车床上两个运动的正方向。

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。图 1-5 所示为数控车床的坐标系。

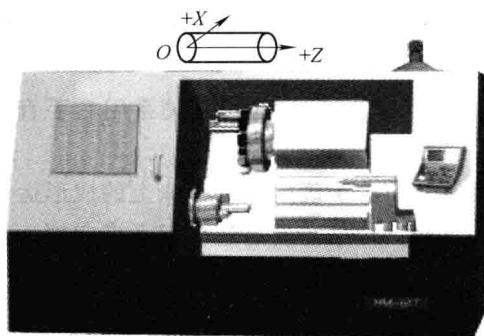


图 1-4 数控车床上的运动方向

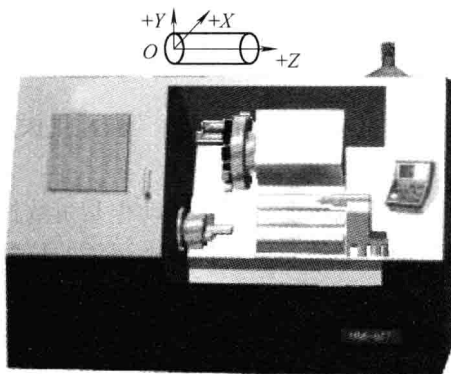


图 1-5 数控车床的坐标系

(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:

- 1) 如果工件作旋转运动, 则刀具离开工件的方向为 X 坐标的正方向。
- 2) 如果刀具作旋转运动, 则分为两种情况: ① 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, 按照右手直角笛卡儿坐标系来确定 Y 坐标的方向。

3. 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:

- 1) 指定平行于 X 、 Y 、 Z 的坐标轴。可以采用的附加坐标系为第二组 U 、 V 、 W 坐标和第三组 P 、 Q 、 R 坐标。
- 2) 指定不平行于 X 、 Y 、 Z 的坐标轴。也可以采用的附加坐标系为第二组 U 、 V 、 W 坐标和第三组 P 、 Q 、 R 坐标。

1.2.2 坐标系的原点

1. 机床原点的设置

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，是数控机床进行加工运动的基准参考点。

(1) 数控车床的机床原点 在数控车床上，机床原点一般取在卡盘端面与主轴轴线的交点处，如图 1-6 所示。同时，通过设置参数的方法，也可将机床原点设定在 X 、 Z 坐标正方向的极限位置上。

(2) 数控铣床的机床原点 在数控铣床上，机床原点一般取在 X 、 Y 、 Z 坐标正方向的极限位置上，如图 1-7 所示。

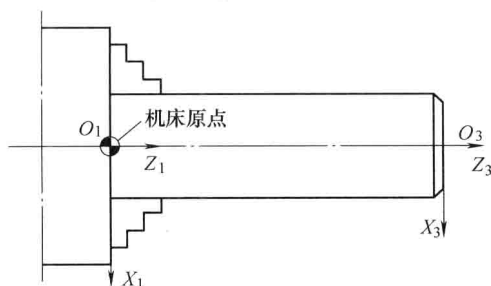


图 1-6 数控车床的机床原点

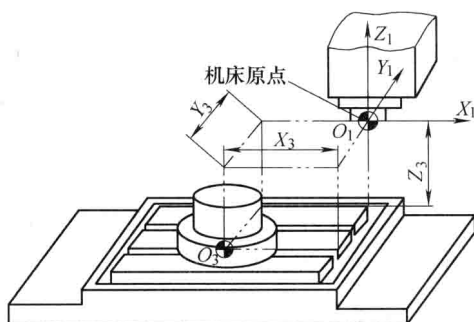


图 1-7 数控铣床的机床原点

2. 机床参考点

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。

机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的，坐标值已输入数控系统中，并且记录在机床的说明书中，用户不得更改，因此参考点对机床原点的坐标是一个已知数。也就是说，可以根据机床参考点在机床坐标系中的坐标值间接确定机床原点的位置。

通常在数控铣床上机床原点和机床参考点是重合的，而在数控车床上机床参考点是离机床原点最远的极限点。图 1-8 所示为数控车床的参考点和机床原点。

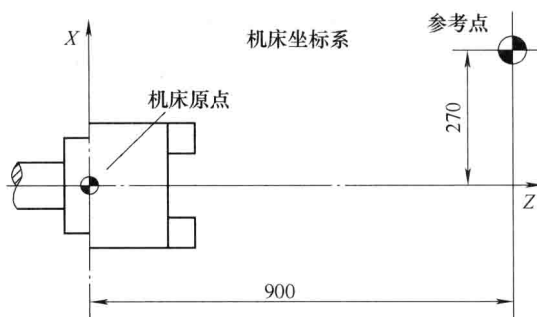


图 1-8 数控车床的参考点和机床原点

数控机床开机时，必须先确定机床原点，而确定机床原点的运动就是刀架返回参考点的操作，这样通过确认参考点，就确定了机床原点。只有机床参考点被确认后，刀具（或工作台）移动才有基准。

3. 工件坐标系及工件原点

工件坐标系是编程人员在编程时设定的坐标系，也称为编程坐标系。在进行数控编程时，首先要根据被加工零件的形状特点和尺寸，在零件图样上建立工件坐标系，使零件上的

所有几何元素都有确定的位置，同时也决定了在数控加工时，零件在机床上的安放方向。工件坐标系的建立，包括坐标原点的选择和坐标轴的确定。

工件坐标系原点也称为工件原点（工件零点）或编程原点（编程零点），与机床坐标系不同，工件原点是根据加工零件图样及加工工艺要求选定的编程坐标系的原点。选择工件坐标系原点应遵循下列原则：

1) 尽量选择在零件的设计基准或工艺基准上，便于计算，便于测量和检验，以利于编程。

2) 尽量选在尺寸精度高，表面粗糙度值小的工件表面上，以提高被加工件的加工精度。

3) 对于对称的工件，最好选在工件的对称中心线上。

工件坐标系中各轴的方向应该与所使用的数控机床相应的坐标轴方向一致。图 1-9 所示为车削零件的编程原点。

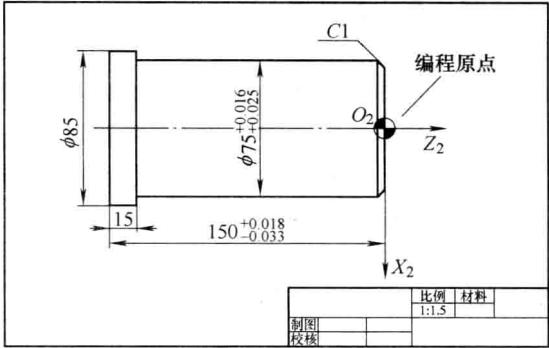


图 1-9 车削零件的编程原点

1.2.3 绝对坐标系和增量坐标系

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。绝对值是以“工件原点”为基准来表示坐标位置的，如图 1-10a 所示。增量值是以相对于“前一点”位置坐标尺寸的增量来表示坐标位置的，如图 1-10b 所示。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，数控车床上还可以在同一程序段中混合使用，使用原则主要是看何种方式编程更方便。

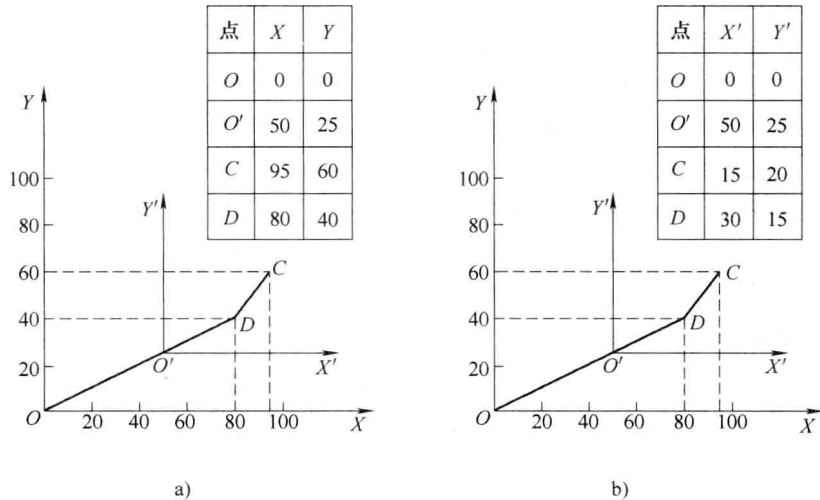


图 1-10 绝对坐标与增量坐标

a) 绝对坐标系 b) 相对坐标系