



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

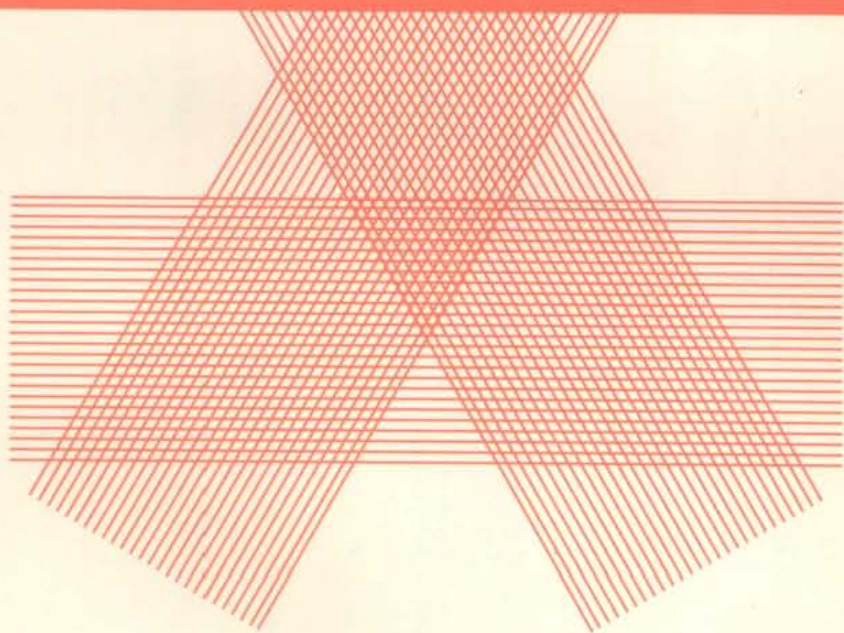
数控编程技术

SHUKONGBIANCHENG
JISHU

张超英 主编

中央广播电视大学出版社

Central Radio & TV University Press



网址 <http://www.crtvup.com.cn>

ISBN 978-7-304-03997-4



9 787304 039974 >

定价：20.00元

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数控编程技术

张超英 主编

中央广播电视大学出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程技术 / 张超英主编. — 北京: 中央广播电视大学出版社, 2008. 1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

ISBN 978 - 7 - 304 - 03997 - 4

I. 数… II. 张… III. 数控机床 - 程序设计 - 电视大学 - 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 013144 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数控编程技术

张超英 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部 010 - 58840200

总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 何勇军

责任编辑: 王立群

印刷: 北京密云胶印厂

印数: 6001 - 11000

版本: 2008 年 1 月第 1 版

2008 年 6 月第 2 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 14 字数: 320 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 03997 - 4

定价: 20.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

数控技术专业教学资源 建设咨询委员会

顾 问：于云秀 郝广发 严 冰

主 任：李林曙 孙长庆

成 员：（以姓氏笔画为序）

王 军	方院生	刘春佳	任 岩	冯雪飞
任庆国	何阳春	关德章	杜纯梓	吴炳岳
沈炳生	李长江	李 涛	季连海	周延军
陈 昊	聂荣华			

数控技术专业教学资源 建设委员会

主 任：陶水龙 刘亚琴

副主任：张超英 杨 琳 郭 鸿 章振周
 宁 晨 王兆山 李西平

成 员：（以姓氏笔画为序）

石 亮	田 虢	冯小平	孙海维	齐 宏
谷 良	杨海东	何勇军	冼健生	洪晓锋
高鸿庭	栾振涛	梁柳青	崔虹雯	郭士义
舒大松				

内 容 提 要

全书共 10 章, 包括第 1 章数控加工的编程基础, 第 2 章数控编程中的工艺分析, 第 3 章数控编程中的数学处理, 第 4 章基本功能指令的编程方法, 第 5 章常用准备功能指令的编程方法, 第 6 章刀具补偿指令及其编程方法, 第 7 章简化编程指令及其编程方法, 第 8 章数控车削加工编程, 第 9 章数控铣削加工编程, 第 10 章宏程序的编制。

本书在内容选择上, 突出了普遍性、实用性、综合性和先进性的特点, 前后各章节联系紧密; 注重讲解不同数控系统之间的差别与联系, 配有大量的典型实例, 内容丰富。每章都有一定数量的思考与练习题, 供读者复习和巩固所学知识。

本书可作为高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造人员的教材或培训用书, 还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

前 言

为了配合中央广播电视大学数控技术专业的教学,中央广播电视大学与机械工业教育发展中心合作共同组织编写了数控技术专业系列教材。该系列教材的编写遵循教育部等三部委联合发布的《关于开展数控技术专业技能型紧缺人才培养的通知》精神,结合“中央广播电视大学人才培养模式改革和开放教育试点”研究工作的开展,立足职业为导向、学生为中心,以基础理论教学“必需、够用”为度,突出职业技能教学的地位,旨在培养学生具有一定的工程技术应用的能力,以适应工作岗位的实际需求。

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分,其核心技术是数控技术。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。它的出现及所带来的巨大效益,已引起了世界各国科技与工业界的普遍重视。目前,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、操作和维护的应用型高级技术人才。为了适应我国高等职业技术教育发展及应用型技术人才培养的需要,我们编写了这套丛书。

数控编程技术是数控加工技术的核心内容之一,是数控加工工艺与数控机床加工操作的纽带,同时,也是CAD/CAM自动编程的基础。为了使读者能够系统地掌握编程技术,在数控系统选型上,注重了市场应用的普遍性,选用了发那科(FANUC)、西门子(SIEMENS)、三菱(MITSUBUSHI)、发格(FAGOR)和国内华中等公司的数控系统。本书突破了传统数控技术教材在内容上的局限性,不仅介绍了不同典型数控系统在指令代码上的差异,而且介绍了相互之间的共性与联系,以便读者在今后的工作中能达到触类旁通的效果。全书系统性、综合性强;书中精选大量典型实例,可以和技能培训中的加工操作紧密联系。

本书可作为高等职业教育数控、机电、模具等专业的教材,也可作为机械设计制造及自动化专业本科生的教材,还可供数控加工技术人员参考。

本书编写组成员有北方工业大学张超英,首钢工学院杨霭云、王犇,北京市应用职业技术学院牛桂林。北方工业大学的谢富春、高德文、郑青等同志对本书编写提供了很大的帮助。全书由方新教授主审。

在本书的编写过程中，得到了中央广播电视大学李西平、宁晨、田琥老师的关心和大力支持，他们为本书编写提供了许多宝贵意见，在此一并致谢。

由于编者水平有限，数控技术发展迅速，所以本书难免有不足之处，望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编 者

2007 年 10 月

目 录

1	数控加工的编程基础	(1)
1.1	数控编程概述	(1)
1.2	数控机床的坐标系与运动方向	(4)
1.3	数控系统及其功能	(8)
1.4	数控加工程序的结构与格式	(10)
1.5	数控系统常用的代码	(12)
	思考与练习题	(16)
2	数控编程中的工艺分析	(17)
2.1	数控编程中工艺分析的主要内容	(17)
2.2	编程中的工艺处理要点	(20)
	思考与练习题	(32)
3	数控编程中的数学处理	(37)
3.1	编程中数学处理的主要内容	(37)
3.2	基点坐标的计算方法	(40)
3.3	刀位点轨迹的坐标计算	(42)
3.4	非圆曲线节点坐标的概念与数学方法	(49)
	思考与练习题	(51)
4	基本功能指令的编程方法	(55)
4.1	刀具功能的编程方法	(55)
4.2	主轴功能的编程方法	(59)

4.3	进给功能的编程方法	(61)
4.4	常用辅助功能的编程	(62)
	思考与练习题	(64)
5	常用准备功能指令的编程方法	(66)
5.1	与坐标系相关的 G 指令编程方法	(66)
5.2	基本运动控制指令的编程	(70)
	思考与练习题	(78)
6	刀具补偿指令及其编程方法	(84)
6.1	刀具半径补偿	(84)
6.2	刀具长度补偿	(91)
	思考与练习题	(93)
7	简化编程指令及其编程方法	(96)
7.1	车削固定循环的编程方法	(97)
7.2	铣削固定循环的编程方法	(107)
7.3	SIEMENS 典型固定循环的编程方法	(115)
7.4	子程序及其调用	(125)
7.5	其他简化编程指令	(126)
	思考与练习题	(128)
8	数控车削加工编程	(131)
8.1	数控车削的特点	(132)
8.2	数控车床编程时的工艺处理	(136)
8.3	轮廓加工的编程	(139)
8.4	螺纹车削加工编程	(144)
8.5	典型零件综合加工编程	(149)
	思考与练习题	(155)

9	数控铣削加工编程	(160)
9.1	数控铣削编程的特点	(161)
9.2	数控铣床与加工中心编程的区别	(165)
9.3	平面加工程序的编制	(168)
9.4	轮廓加工的程序编制	(172)
9.5	沟槽与型腔加工的程序编制	(181)
9.6	孔及孔系加工的程序编制	(185)
9.7	铣削编程综合实例	(189)
	思考与练习题	(193)
10	宏程序的编制	(197)
10.1	变量及其类型	(197)
10.2	宏程序的调用方法	(202)
10.3	程序的控制指令	(204)
10.4	宏程序的编制方法	(206)
	思考与练习题	(211)
	参考文献	(213)

1 数控加工的编程基础

学习目标

- 建立数控编程的基本概念；
- 掌握数控编程的基本内容、主要步骤；
- 掌握数控机床的坐标系和运动方向命名规则；
- 掌握加工程序的基本组成、程序的基本结构和类型。

内容提要

本章介绍数控编程的基本概念，数控编程的基本内容、主要步骤，数控机床的坐标系和运动方向命名规则，加工程序的基本组成、程序的基本结构和类型等主要内容。

重点与难点

重点：数控编程的内容与步骤，加工程序的基本结构及格式，模态代码与非模态代码的概念。

难点：数控机床的坐标系和运动方向判别。

1.1 数控编程概述

1.1.1 数控加工的过程

如图 1-1 所示，利用数控机床完成零件数控加工的过程包括下列主要步骤：

- ① 根据零件加工图样进行工艺分析, 确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- ② 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单; 或用自动编程软件进行 CAD/CAM 工作, 直接生成零件的加工程序文件。
- ③ 程序的输入或传输。由手工编写的程序, 可以通过数控机床的操作面板输入程序; 由编程软件生成的程序, 通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元 (MCU)。
- ④ 将输入/传输到数控单元的加工程序, 进行试运行、刀具路径模拟等。
- ⑤ 通过对机床的正确操作, 运行程序, 完成零件的加工。

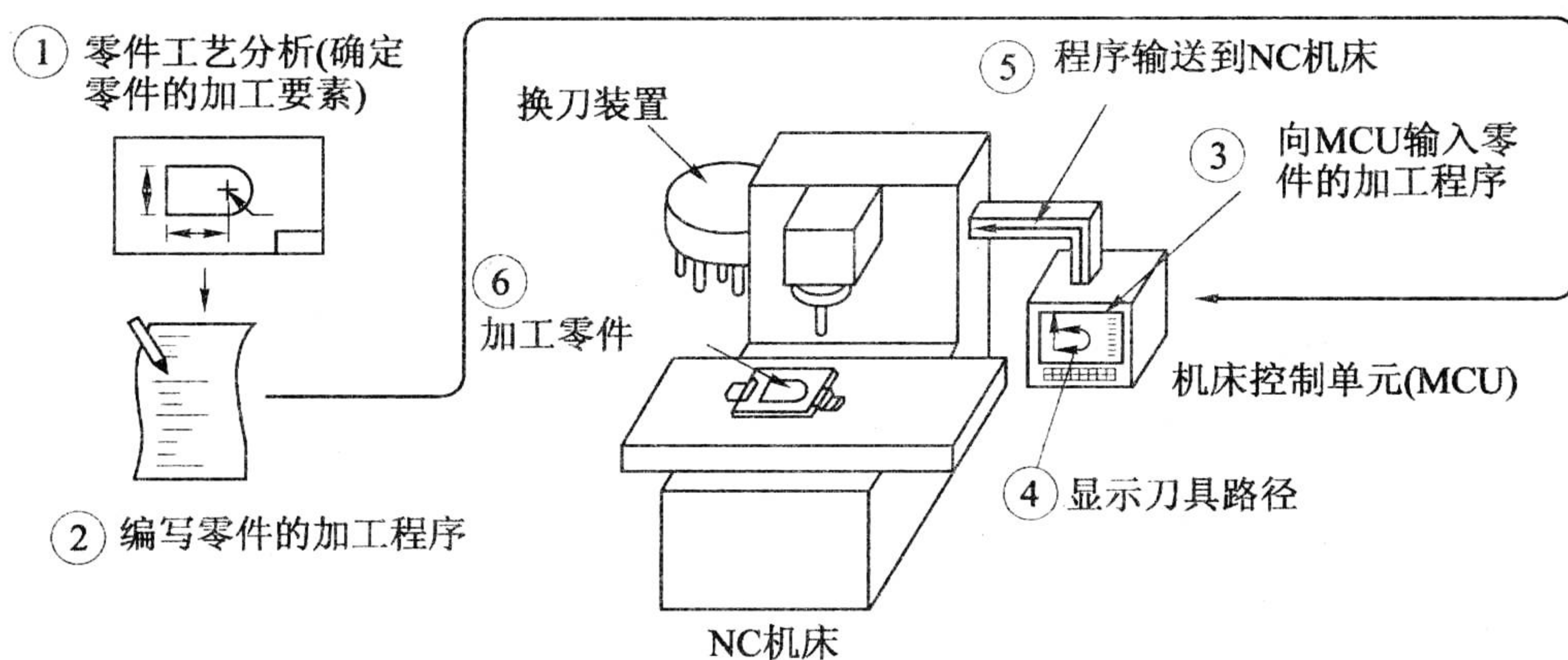


图 1-1 数控加工的过程

由此可见, 数控编程是数控加工的重要步骤。用数控机床对零件进行加工时, 首先对零件进行加工工艺分析, 以确定加工方法、加工工艺路线; 然后, 正确地选择数控机床刀具和装卡方法; 最后, 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 (主轴转速、进给量、吃刀深度等) 以及辅助功能 (换刀、主轴正转/反转、切削液开/关等) 编写成加工程序单, 传送或输入到数控装置中, 从而指挥机床加工零件。

1.1.2 数控编程的内容与方法

程序编制通常包括以下几个方面的工作。

(1) 加工工艺分析

编程人员首先要根据零件图纸, 对零件的材料、形状、尺寸、精度和热处理要求等, 进行加工工艺分析。合理地选择加工方案, 确定加工顺序、加工路线、装卡方式、刀具及切削参数等; 同时还要考虑所用数控机床的指令功能, 充分发挥机床的效能; 加工路线要短, 正确地选择对刀点、换刀点, 减少换刀次数。

(2) 数值计算

根据零件图的几何尺寸确定工艺路线及设定坐标系, 计算零件粗、精加工运动的轨迹,

得到刀位数据。对于形状比较简单的零件（如直线和圆弧组成的零件）的轮廓加工，要计算出几何元素的起点和终点、圆弧的圆心、几何元素的交点或切点的坐标值，有的还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件（如非圆曲线、曲面组成的零件），需要用直线段或圆弧段逼近，根据加工精度的要求计算出节点坐标值，这种数值计算一般要用计算机来完成。

（3）编写零件加工程序单

加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后，编程人员根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式，逐段编写加工程序。此外，还应附上必要的加工示意图、刀具布置图、机床调整卡、工序卡以及必要的说明。

（4）制备控制介质

把编制好的程序单上的内容记录在控制介质上，作为数控装置的输入信息。通过程序的手工输入或通信传输送入数控系统。

（5）程序校对与首件试切

编写的程序单和制备好的控制介质，必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接将控制介质上的内容输入到数控装置中，让机床空运转，以检查机床的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示的数控机床上，用模拟刀具与工件切削过程的方法进行检验更为方便，但这些方法只能检验运动是否正确，不能检验被加工零件的加工精度。因此，要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时，分析误差产生的原因，找出问题所在，加以修正。

整个数控编程的内容及步骤，可用图 1-2 的框图表示。

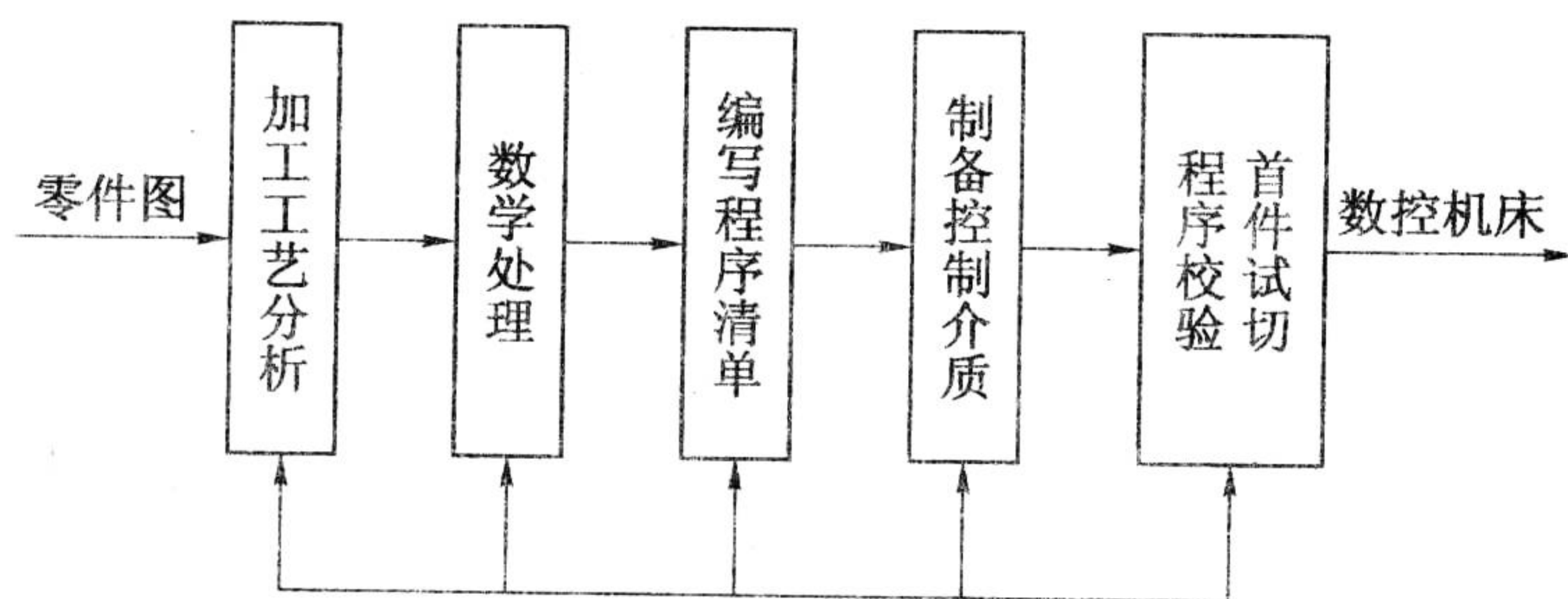


图 1-2 数控编程的步骤

1.1.3 数控编程的种类

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

（1）手工编程

手工编程就是从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、

制备控制介质到程序校验都是由人工完成。对于加工形状简单、计算量小、程序不多的零件，采用手工编程较容易，而且经济、及时。因此，在点位加工或由直线与圆弧组成的轮廓加工中，手工编程仍广泛应用。对于形状复杂的零件，特别是由非圆曲线、列表曲线及曲面组成的零件，用手工编程就有一定困难，出错的概率增大，有时甚至无法编出程序，必须用自动编程的方法编制程序。

(2) 自动编程

自动编程是利用计算机专用软件编制数控加工程序的过程。编程人员只需根据零件图样的要求，使用数控语言，由计算机自动地进行数值计算及后置处理，编写出零件加工程序单，加工程序通过直接通信的方式送入数控机床，指挥机床工作。自动编程使得一些计算繁琐、手工编程困难，或无法编出的程序能够顺利地完成。有关自动编程的内容，请参阅有关书籍。

1.2 数控机床的坐标系与运动方向

1.2.1 刀具沿工件的加工要素运动

数控加工的过程是刀具沿工件所要加工的元素移动（注：某些机床实际上是工作台移动而不是刀具运动，但为了编程上的方便，假定刀具相对于工件移动）——插补过程。如图1-3、图1-4所示。

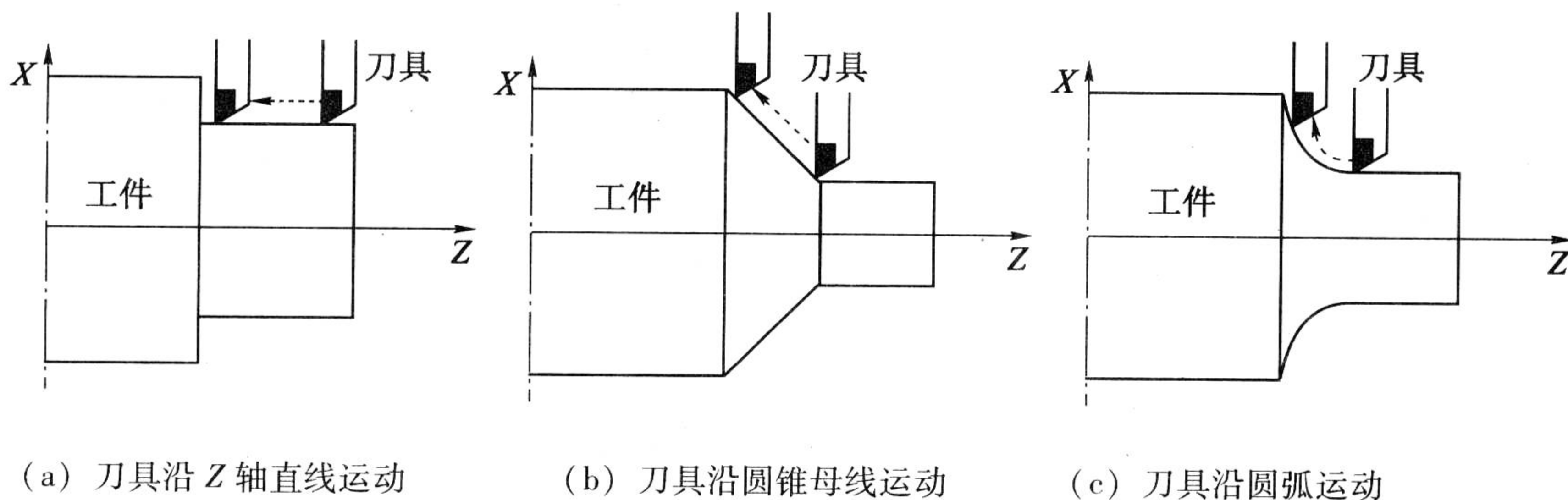


图1-3 车削加工刀具运动轨迹

按机床运动的控制轨迹，有以下几种类型。

(1) 点位控制的运动

典型的点位控制是孔加工，如图1-5所示。

(2) 平面轨迹控制

平面轮廓控制特点是能够对两个运动坐标的位移和速度同时进行控制。可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工。轮廓控制的加工轨迹如图1-6所示。