

天津科技翻译出版公司

75651
W 47

现代数控机床编程与操作

王玉新 编译

天津科技翻译出版公司

内容提要

“现代数控机床编程与操作”一书,共分四章,第一章概述,讲述 CNC(计算机数控)机床的工作原理、特点、分类及应用范围。第二章讲述 CNC 机床程序编制的一般方法和步骤,编程几何基础、工艺基础及常用功能指令代码。第三章讲述 CNC 车床编程与操作。第四章讲述 CNC 铣床编程与操作。

本书简明扼要、图文并茂。采用了大量加工实例和经过计算机模拟演示的加工程序,使读者迅速理解各种编程指令。(指令代码符合 DIN66025 并与 ISO1056 等效)。

本书可作为机械制造专业、机电一体化专业大中专、技校教材,可作为数控机床操作工人、编程员培训教材,也可供从事数控机床工作的工程技术人员作为参考书。

现代数控机床编程与操作

编 著:王玉新

责任编辑:李晓英 王 英

* * *

天津科技翻译出版公司出版

(邮政编码:300192)

新华书店天津发行所发行

天津市印刷技术研究所印刷

* * *

开本 787×1092 1/16 印张:11.5 字数:253(千字)

1996年3月第1版 1996年3月第1次印刷

印数 1~3000册

ISBN 7-5433-0755-3
TB·35 定价:22.00元

编者的话

现代数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测以及精密机械等高新技术的产物。是典型的机电一体化产品。是完全新型的自动化机床。必将逐步取代传统式的普通机床。

数控机床的出现以及它所带来的巨大效益,引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。30年来,数控机床在品种、数量、加工范围和加工精度等方面有了惊人的发展。

近年来,我国在数控机床开发、研制、生产等方面得到迅速发展。发展现代数控机床是当前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。

随着数控机床的大量使用。急需培养大批能熟练掌握现代数控机床编程、操作、维修人员和工程技术人员。

编写本书的目的,就在于满足企业多、快、好、省地培养数控人材的需求。本书是一本实用性很强的培训教材。适用于企业从事数控机床工作的工人,工程技术人员,同时也适于作为大中专、技校、职校教材。

德国是世界数控机床生产大国之一。天津中德培训中心引进德国现代数控车床、数控铣床、数控仿形铣床、数控座标磨床、数控电火花加工机床等多种数控机床。为培养数控人材,打下了坚实的物质基础。德国二元制的教学模式以及德方专家提供的教学资料,为迅速培养数控人材提供了优良的“软件”。

本人从事二十余年机床设计工作。又在从事多年数控机床教学、消化德方教学资料基础上,在实际使用、操作数控机床的实践中,编写了这本书。把它奉献给广大读者,以满足广大工人和工程技术人员掌握数控技术的渴求。

本书简明扼要、图文并茂,通俗易懂。采用了大量加工实例和经过计算机模拟演示的加工程序,使读者迅速理解各种编程指令,书中采用的编程指令代码符合 DIN66025,并与国际标准 ISO 1056、我国标准 JB 3208—83 等效。

通过掌握本书中讲述的数控车床、数控铣床编程、操作方法。为进一步掌握其它类型的数控机床打下良好基础。

在本书编写过程中,得到德国 GTZ 专家 Nausch(瑙施)先生和天津中德培训中心主任孙宝源先生,付主任钱鸣皋先生的大力支持和帮助。王华力同志参加了本书编写和整理工作。同时得到许多同仁的帮助。在此一并表示衷心感谢。

因本人水平有限、错误之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者 天津中德现代工业技术培训中心

王玉新

1995.11

序 言

江泽民主席指出：“现代国际间的竞争，说到底综合国力的竞争，关键是科学技术的竞争。”当今，在全球性的工业竞争中，就现代制造业而言，他不仅面临着产品、市场和管理方式等的变化，而且也面临着生产技术的变革，为使制造业获得更强的竞争能力，就应注重采用先进的数控技术和激光高技术，以改造传统的生产制造技术。古语云：“工欲善其事，必先利其器。”数控技术应用到制造业，可以极大地提高企业的生产能力和经济效益，这也标志着科学技术的进步、国民经济的发展和社会的进步。

《现代数控机床编程与操作》一书，就是适应了当前产业化制造业技术进步的需要，详细地阐述了数控编程的方法和步骤，以数控车床和数控铣床编程为实例，收集了大量经过模拟演示的编程练习和加工实例，采用德国现代教学模式，深入浅出，通俗易懂，图文并茂，使读者在较短的时间内，掌握数控机床基础知识、编程和操作技术，可作为大中专、职业学校和技工学校中机械制造专业、机电一体化专业以及数控机床操作工人、程序员培训的教材，也可供从事数控机床工作的工程技术人员作参考书。

希望广大读者结合自己的经验，加以补充、丰富和发展，以推动数控技术在制造业中的广泛应用。

钱鸣皋

1995. 11.

目 录

1. 概述	(1)
1.1 数控机床工作原理	(1)
1.1.1 什么是数控机床	(1)
1.1.2 CNC 机床与普通机床的区别	(1)
1.1.3 CNC 机床的工作原理	(1)
1.2 数控机床的分类	(3)
1.2.1 按工艺用途分类	(3)
1.2.2 按运动方式分类	(3)
1.3 数控机床的特点及应用范围	(5)
1.4 数控机床的发展	(6)
2. 数控机床的程序编制	(7)
2.1 编程几何基础	(7)
2.1.1 机床坐标系	(7)
2.1.2 机床零点与参考点	(8)
2.1.3 工件坐标系与工件零点	(10)
2.1.4 编程零点	(12)
2.1.5 绝对尺寸与增量尺寸	(13)
2.2 编程工艺基础	(14)
2.2.1 加工工件的选择	(14)
2.2.2 工件加工工序的划分	(14)
2.2.3 工件的装卡方式	(14)
2.2.4 加工路线的确定	(15)
2.2.5 切削用量的选择	(15)
2.2.6 口头编程实例	(16)
2.3 程序编制的一般方法和步骤	(17)
2.3.1 认真分析工件图样	(17)
2.3.2 确定工艺过程	(17)
2.3.3 运动轨迹的计算	(17)
2.3.4 编写加工程序单	(17)
2.3.5 程序输入	(18)
2.3.6 程序校验和首件试切	(18)
2.4 程序结构与格式	(18)
2.5 常用功能指令代码	(20)
2.5.1 准备功能指令代码—G 代码	(20)
2.5.2 辅助功能指令代码—M 代码	(26)

2.6	子程序技术.....	(28)
2.7	手工编程与自动编程.....	(28)
2.7.1	手工编程.....	(28)
2.7.2	自动编程.....	(28)
3.	数控车床编程与操作	(30)
3.1	CT40 数控车床简介	(30)
3.1.1	机床外观.....	(30)
3.1.2	机床的基本结构.....	(30)
3.1.3	主要技术参数.....	(31)
3.1.4	数控装置主要功能.....	(31)
3.1.5	EPL2 编程软件主要功能指令代码	(32)
3.2	编程基础.....	(34)
3.2.1	机床上的相关点.....	(34)
3.2.2	车床坐标系.....	(35)
3.2.3	绝对尺寸与增量尺寸.....	(35)
3.2.4	工件零点的设定.....	(36)
3.2.5	程序的构成.....	(37)
3.2.6	工件由工件图到成品的过程.....	(38)
3.2.7	刀尖半径补偿.....	(39)
3.2.8	基本 G 指令和 M 指令	(41)
3.2.9	恒速切削与恒转数切削.....	(43)
3.2.10	恒进给速度与恒进给量切削	(44)
3.3	工件轮廓编程.....	(45)
3.3.1	G1—直线元素的编程	(45)
3.3.2	G2,G3—圆弧编程.....	(49)
3.3.3	G12,G13—I,K 值以绝对坐标给定的圆弧编程	(52)
3.3.4	直线编程中(G1),直线与圆弧交点的象限识别	(54)
3.3.5	圆弧编程中,圆弧与直线交点的象限识别	(55)
3.3.6	G85—退刀槽加工	(57)
3.3.7	G87—倒圆	(59)
3.3.8	G88—倒角	(60)
3.3.9	轮廓编程综合练习.....	(61)
3.4	工件加工编程.....	(65)
3.4.1	G14—刀具返回换刀点方式	(65)
3.4.2	G57—在 X,Z 方向分别留加工余量.....	(66)
3.4.3	G58—平行于工件轮廓留加工余量	(67)
3.4.4	子程序技术.....	(68)
3.4.5	G81—外圆粗车循环	(71)
3.4.6	G82—端面粗车循环	(74)

3.4.7	G83—轮廓切削循环	(77)
3.4.8	G86—切槽加工循环	(79)
3.4.9	G35—标准公制螺纹加工循环	(83)
3.4.10	G74—深孔钻削加工循环	(84)
3.5	机床加工准备	(86)
3.5.1	机床回参考点	(86)
3.5.2	用参数给定工件毛坯尺寸及装卡形式	(87)
3.5.3	建立刀具参数	(88)
3.5.4	工件零点的设定	(92)
3.5.5	保护区的设定	(95)
3.5.6	换刀点的设定	(96)
3.6	机床加工操作	(97)
3.6.1	CT40 操作键盘	(97)
3.6.2	CT40 的操作	(98)
4.	数控铣床编程与操作	(114)
4.1	FP3A 机床简介	(114)
4.1.1	机床外观	(114)
4.1.2	机床基本结构	(115)
4.1.3	主要技术参数	(115)
4.2	数控铣床编程	(116)
4.2.1	铣床坐标系	(116)
4.2.2	机床零点与参考点	(116)
4.2.3	编程指令与实例	(116)
4.2.4	子程序技术	(155)
4.3	零件加工步骤	(165)
4.4	FP3A 数控镗铣床的操作	(166)
4.4.1	操作面板及其功能	(166)
4.4.2	电手轮及其操作	(167)
4.4.3	编程键及其功能	(168)
4.4.4	操作方式选择旋钮	(168)
附录:	数控机床符号 DIN 55003 T3(8.81)	(171)

1. 概述

1.1 数控机床工作原理

1.1.1 什么是数控机床

随着科学技术的发展,产品不断更新换代。为了满足单件、小批、多品种自动化生产的需要,人们研制出一种灵活的、通用的能够适应产品频繁变化的“柔性”自动化机床—数字控制(Numerical Control,简称 NC)机床,简称 NC 机床或数控机床。

随着计算机的广泛应用,人们将微机应用于机床控制系统,出现了计算机数字控制(Compute Numerical Control)机床,简称 CNC 机床。CNC 机床是计算机技术与机床设计制造技术相结合的产物,是典型的机电一体化产品。是计算机控制在机械中的具体应用,是机械自动化控制的飞跃。

CNC 机床与 NC 机床的主要区别在于,CNC 机床采用专用的或通用的计算机控制,系统软件常驻在内存中,零件加工程序(应用程序)可以输入到内存中。只要改变计算机的控制软件(如零件加工程序),就能实现一种新的控制方式,从而加工出一种新的工件。

CNC 机床就是将零件加工过程中的各种操作,以及刀具与工件之间的相对位移,由预先编制的程序输入到数控装置,数控装置发出各种指令控制机床,使机床自动加工出所需要的工件。这种机床就是 CNC 机床。

1.1.2 CNC 机床与普通机床的区别

CNC 机床与普通机床的区别主要有:

1. CNC 机床一般具有手动加工(用电手轮)、机动加工和控制程序自动加工功能,加工过程中一般不需要人工干预。普通机床只具有手动加工和机动加工功能,加工过程全部由人工干预。

2. CNC 机床一般具有 CRT 屏幕显示功能。显示加工程序、多种工艺参数、加工时间、刀具运动轨迹以及工件图形等。CNC 机床一般还具有自动报警显示功能,根据报警信号或报警提示,可以迅速地查找机床故障。而普通机床不具备上述功能。

3. CNC 机床的主传动和进给传动采用直流或交流无级调速伺服电动机。一般没有主轴变速箱和进给变速箱,传动链短。而普通机床主传动和进给传动一般采用三相交流异步电动机,由变速箱实现多级变速以满足工艺要求,机床传动链长。

4. CNC 机床一般具有工件测量系统。加工过程中一般不需要进行工件尺寸的人工测量。而普通机床在加工过程中,必须由人工不断地进行测量,以保证工件的加工精度。

CNC 机床与普通机床最显著的区别是:当加工对象(工件)改变时,CNC 机床只需要改变加工程序(应用软件),而不需要对机床作较大的调整,即能加工出各种不同的工件。

1.1.3 CNC 机床的工作原理

在 CNC 机床上加工零件是把被加工零件的工艺过程(如加工顺序、加工类别)、工艺参数(如主轴转数、进给速度、刀具尺寸)以及刀具与工件的相对位移,用数控语言编写成加工程序单。然后将程序输入到数控装置(专用计算机),数控装置便根据数控指令控制机床的各种操作

和刀具与工件的相对位移。当零件加工程序结束时,机床便会自动停止,加工出合格的零件。

CNC 机床工作原理见图 1-1。

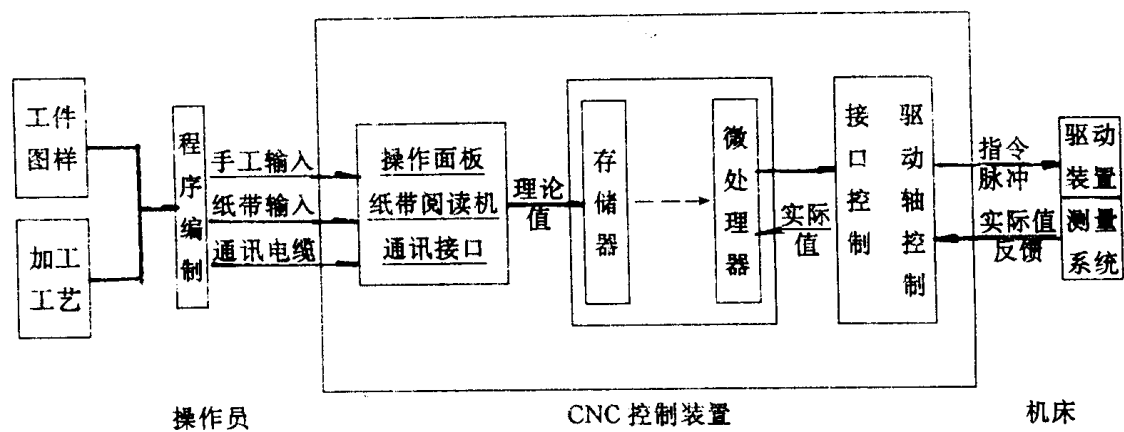


图 1-1 CNC 控制框图

操作员根据工件图样和加工工艺,编制加工程序(可以手工编程,也可以用计算机自动编程)。然后将程序输入到 CNC 控制装置中。输入方式可以通过操作键盘手工输入(即 MDI 方式),可以通过纸带输入,也可以通过通讯电缆输入。CNC 装置中的专用或通用计算机对输入的指令和数据进行处理。对驱动轴及各种接口进行控制并发出指令脉冲,驱动伺服电动机达到一定的速度并使机床工作台或滑板运动到一定的位置。机床测量系统测出工作台或滑板的实际位置,再将该位置信号进行反馈,使驱动轴产生一个附加转动,直至工作台或滑板到达准确位置,称其为闭环控制系统,见图 1-2。

CNC 机床有的采用开环控制系统或半闭环控制系统,见图 1-3。

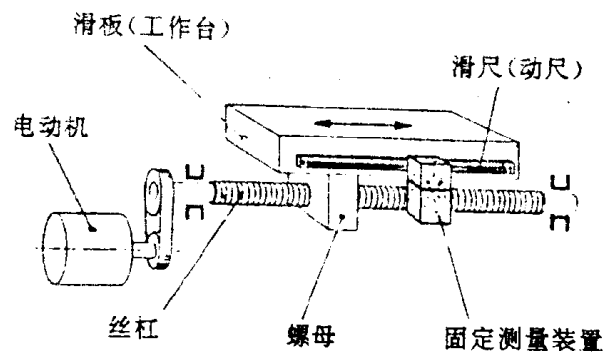


图 1-2 闭环控制系统

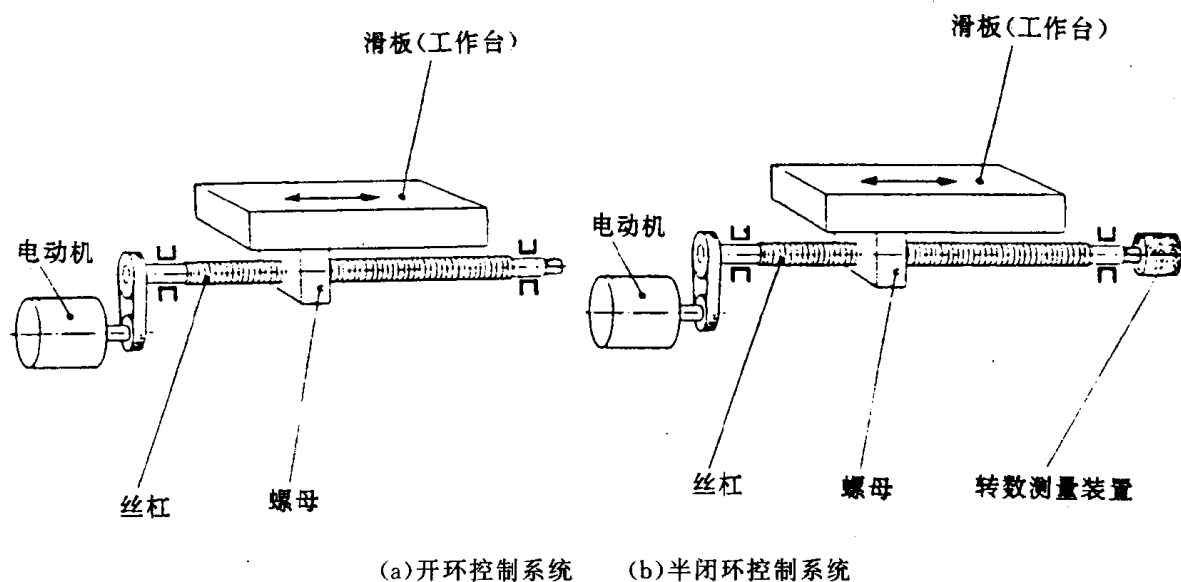


图 1-3 开环、半闭环控制系统

1.2 数控机床的分类

可以从不同的角度对 CNC 机床进行分类,以便于机床的使用和管理。

1.2.1 按工艺用途分类

目前,数控技术已经应用到各种类型的金属切削机床和其它机械之中。常见的数控机床有:CNC 车床、CNC 铣床、CNC 钻床、CNC 磨床、CNC 镗铣床、CNC 齿轮加工机床、CNC 电火花加工机床、CNC 线切割机床、CNC 冲床、CNC 剪床、CNC 液压机等各种工艺用途的 CNC 机床。加工中心是在 CNC 镗铣床的基础上发展起来的,带有刀库和自动换刀装置。工件一次装卡后,可以完成铣、镗、钻、扩、铰、攻丝、铣螺纹等多种工序加工。车削加工中心是在 CNC 车床的基础上增加了刀库、自动换刀装置、分度装置、铣削动力头和机械手等。可在一次装卡中,完成回转零件的几乎所有加工工序。如车、铣、钻、铰、攻螺纹等多种加工。

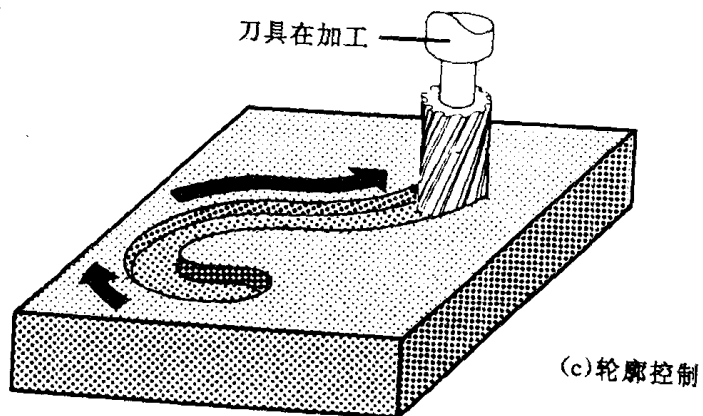
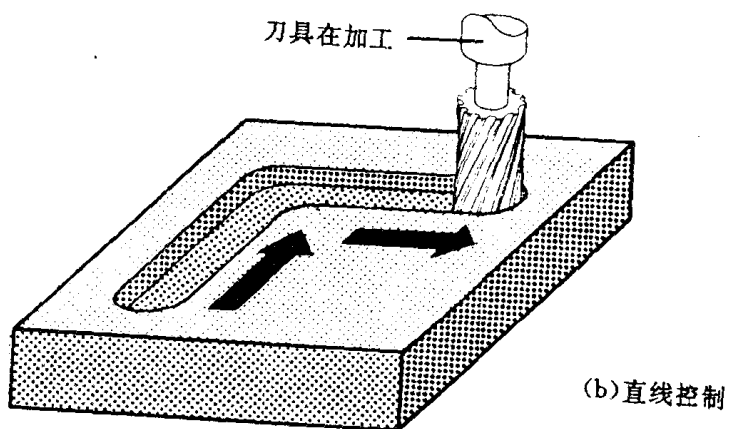
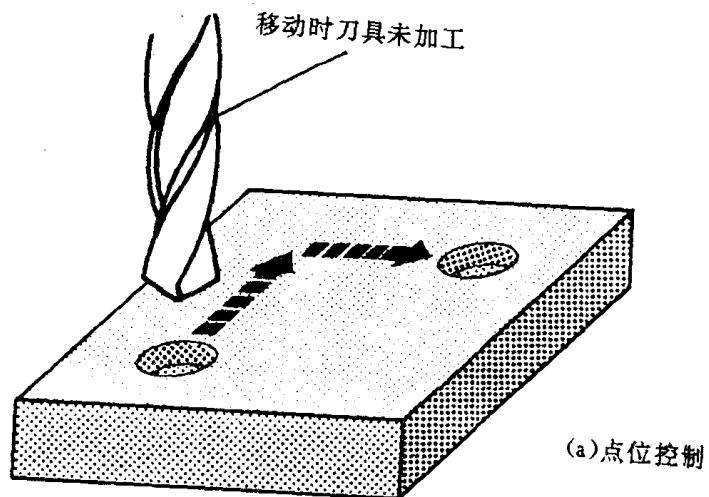
1.2.2 按运动方式分类

CNC 机床按其刀具与工件相对运动的方式,可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制,见图 1-4。

1. 点位控制 点位控制方式就是刀具与工件相对运动时,只控制从一点运动到另一点的准确性,而不考虑两点之间的运动路径和方向。采用这类控制方式的 CNC 机床主要有:CNC 钻床、CNC 冲床、CNC 坐标镗床和 CNC 点焊机等。

2. 直线控制 直线控制方式就是刀具与工件相对运动时,除了控制从起始点到终点的准确定位以外,还能实现平行于坐标轴的直线切削运动。由于它只能作平行于坐标轴的直线切削进给运动,因此不能加工复杂的工件轮廓。采用直线控制方式的 CNC 机床主要有:CNC 车床、CNC 铣床、CNC 磨床等。

3. 轮廓控制 轮廓控制就是刀具与工件相对运动时,能对两个或两个以上坐标轴的运动同时进行控制。因此,可以加工平面曲线轮廓或空间曲面轮廓。采用这类控制方式的 CNC 机床主要有:CNC 车床、CNC 铣床、CNC 磨床、加工中心等。



(a) 点位控制 (b) 直线控制 (c) 轮廓控制

图 1-4 CNC 机床分类

1.3 数控机床的特点及应用范围

1. 应变能力强,适于多品种、单件小批零件的加工。

在普通机床上加工一个新的零件,往往需要重新调整机床,更换新的工具、量具、夹具或模具等“硬件”。而在CNC机床上加工不同的零件时,只要重新编制或修改加工程序——“软件”,即可加工出不同的工件。CNC机床大大缩短了生产、技术准备时间。应变能力很强。因此,适用于多品种、单件小批零件的加工。

2. 加工精度高,多轴联动可实现复杂轮廓的插补运动。适于高精度、形状复杂零件的加工。

由于CNC机床的主传动和进给传动,采用直流或交流伺服电机,可实现无级调速。大大减化了主传动和进给传动系统,传动链短。进给传动链中有消除间隙的装置。而且丝杆螺距误差、传动误差等造成的位置误差,可由测量装置和数控装置进行补偿。因此,CNC机床具有较高的加工精度。对于中、小型CNC机床,定位精度普遍可达到0.02毫米,重复定位精度可达到0.01~0.005毫米。CNC机床的自动加工方式避免了人工干预造成的操作误差。同一批加工零件的一致性很好,加工质量十分稳定。CNC机床一般都具有刀具半径补偿和长度补偿功能。可以方便地消除由于刀具磨损、刀具调整误差所造成的工件尺寸误差,提高工件加工精度。CNC机床可以对结构和形状复杂的零件进行手工编程或自动编程,机床可进行多轴联动或多维插补。因此,CNC机床适于高精度、形状复杂零件的加工。这是一般普通机床所不能比拟的。

3. 大大减轻工人的体力劳动,适于工序较多而又集中的零件加工。

CNC机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的。工人只要调整好机床,装卡好零件,按自动循环启动按钮,机床就可自动进行加工。零件加工完成后,机床自动停止。零件一次装卡可完成多道工序。特别是加工中心可进行多工位、多工序的自动加工。而在普通机床加工,工人要进行繁重的重复性手工操作和工件测量。

4. 具有较高的加工生产率和较低的加工成本。

机床加工生产率主要是指加工一个零件需要的时间。而加工时间包括机动时间和辅助时间。CNC机床的主轴转速和进给速度范围大,并可无级调速。加工时可选用最佳的切削速度和进给速度,可进行恒转速或恒切削速度的切削。在保证工件加工质量和刀具一定使用寿命的前提下,可尽量加大切削用量。良好的结构刚度允许CNC机床进行强力切削、高速切削。CNC机床移动部件的快速移动和定位采用了加速与减速措施,选用了很高的空行程运动速度,消耗在空行程和定位的时间比普通机床少得多,有效地节省了辅助时间。由于CNC机床具有测量系统,零件加工时往往可以省去划线工时。零件装卡到机床上之后又可以减少调整和零件加工过程中的检验时间。CNC机床加工零件一般不需要制作模型、样板、凸轮、钻模、镗模等工艺装备,大大节省了工装费用及生产技术准备时间。CNC机床加工精度稳定,废品率低,也使生产成本进一步降低。因此,CNC机床适于加工具有中、小批量,要求一致性好的零件,和在普通机床上需要设计制造较多工、卡、量具的零件。

5. 有利于实现机械加工的现代化管理

CNC机床加工,能准确地计算出或自动记录单件加工工时和总的加工工时。实现半成品、成品的统计、管理。能实现一台中央计算机对几台、十几台CNC机床的集中控制和管理(DNC)。实现计算机辅助设计(CAD),计算机辅助制造(CAM),计算机辅助质量监督(CAQ)

等机械加工的现代化集成制造系统。

1.4 数控机床的发展

随着科学技术的发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。许多工厂采用了自动化机床、组合机床、专用机床和自动化生产线。这在大批量生产条件下,经济效益是十分显著的。但是在机械制造中,并不是所有的产品零件都具有很大的批量,单件、小批量零件约占机械加工总量的80%以上。由于批量小,改型频繁,零件形状复杂,精度要求高,所以采用专用性很强的自动化机床加工这类零件就显得很不合理,甚至不可能。为了不断地满足市场需要、产品的必要更新,这种“刚性”自动化设备在当今已不能满足要求。于是NC技术和CNC技术就应运而生了。随着CNC技术的发展,出现了各种CNC机床。

1952年美国派尔逊斯公司(Parsons Corporaton)和麻省理工学院合作研制成功世界第一台三坐标数控铣床。从1960年开始,其它一些工业国家,如德国、日本都陆续地开发、生产、使用了数控机床。近年来,日本、美国和德国已成为世界上最大的数控机床生产国。据统计,1985年日本的数控机床产值占机床总产值的66.9%,美国为38.5%,德国为47.7%。

我国数控机床是从1958年开始研制的,已经历了30多年的发展历程,并得到迅速地发展。70年代初,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,数控加工中心也相继在上海、北京研制成功。

1982年青海第一机床厂生产的XHK754卧式加工中心,长城机床厂生产的CK7815数控车床,北京机床研究所生产的JCS018立式加工中心,上海机床厂生产的H160数控端面外圆磨,都能可靠地进行工作,并投入批量生产。到1989年底,我国数控机床可供品种超过300种,其中数控车床占40%,加工中心占27%,其余为重型机床、镗铣床、电加工机床、磨床、齿轮加工机床及拉床等。

2. 数控机床的程序编制

2.1 编程几何基础

2.1.1 机床坐标系

机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置、机床运动部件的特殊位置(如:换刀点、参考点)以及运动范围(如:行程范围、保护区)等,而建立的几何坐标系。CNC 机床采用统一的标准笛卡儿直角坐标系。三个坐标轴 X、Y、Z 互相垂直,各坐标轴的方向符合右手法则,见图 2-1。

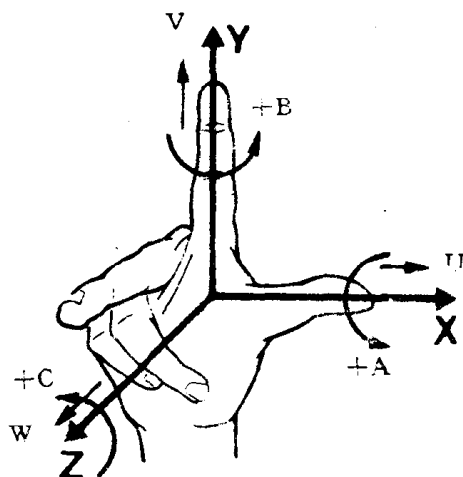


图 2-1 右手直角笛卡儿坐标系

在编程时,为了编程的方便和统一,总是假定工件是静止的,刀具在坐标系内移动,因此,坐标轴的方向总是指刀具的运动方向。标准规定 CNC 机床的主轴与机床坐标系的 Z 轴重合或平行,Z 坐标的正方向规定为增大刀具与工件距离的方向,以此根据右手法则确定 X、Y 坐标轴的方向。立式铣床和卧式车床坐标系,见图 2-2。

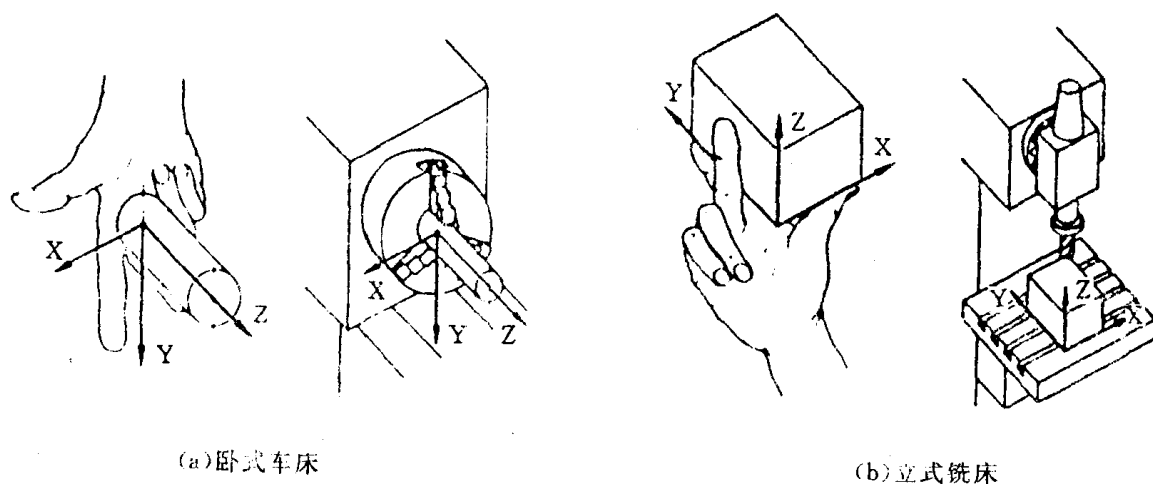


图 2-2 机床坐标系举例

如果 CNC 机床的运动多于 X、Y、Z 三个轴,则用 U、V、W 分别表示平行于 X、Y、Z 轴的第二组直线运动。用 A、B、C 分别表示绕 X、Y、Z 轴的旋转运动。见图 2-1。例如六轴加工中心坐标系,见图 2-3。

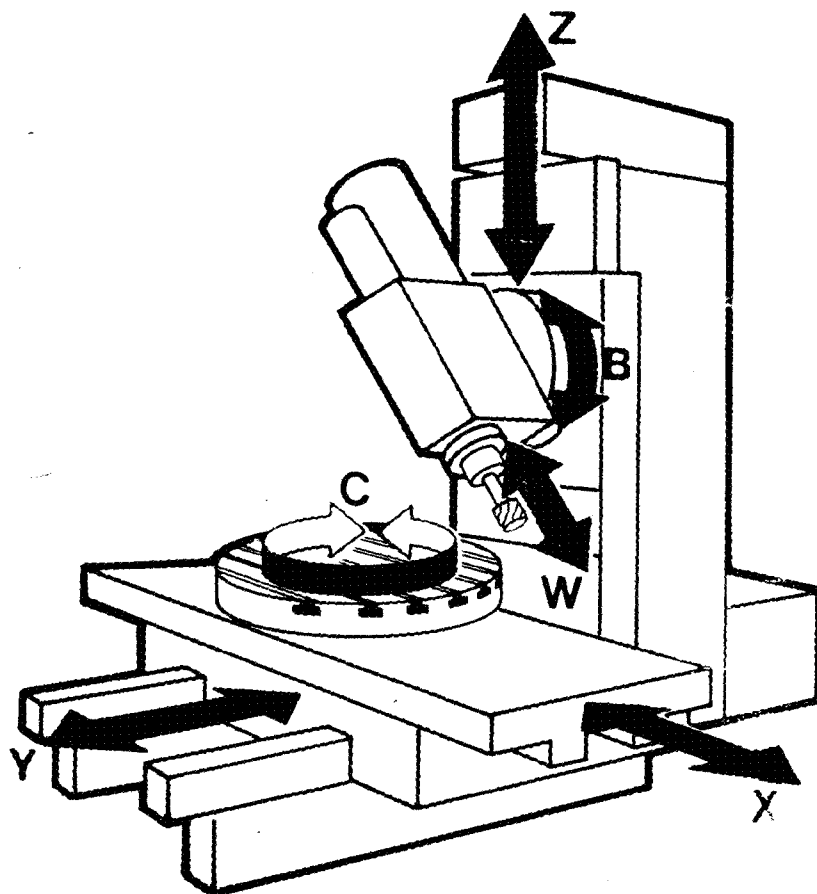


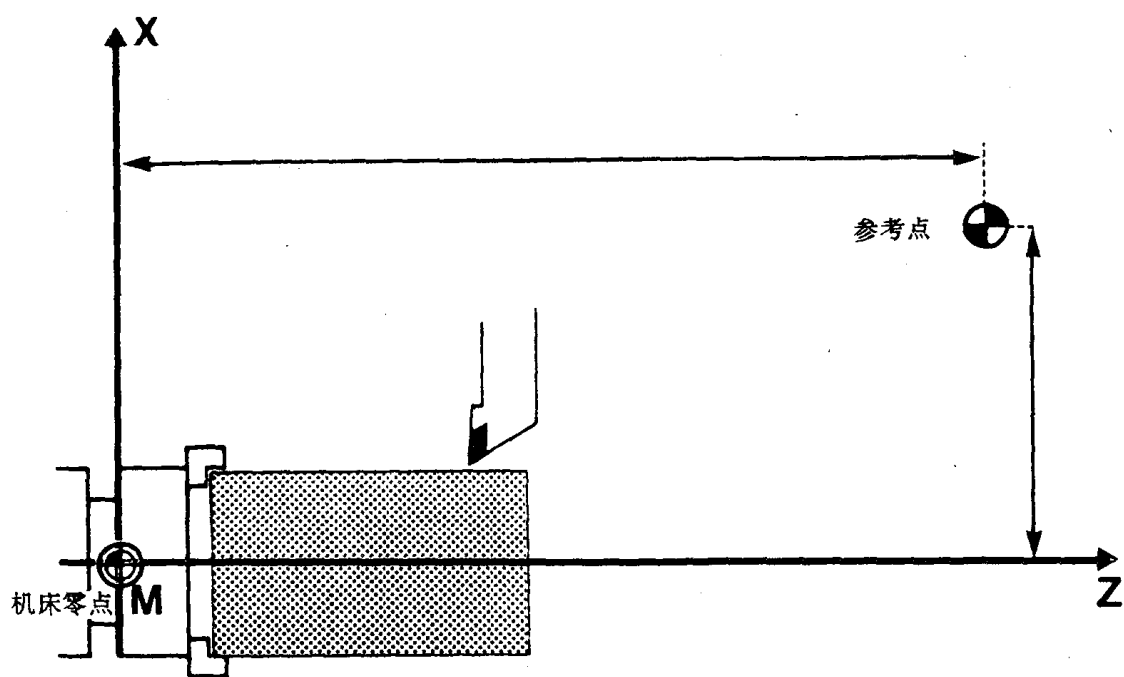
图 2-3 六轴加工中心坐标系

2.1.2 机床零点与参考点

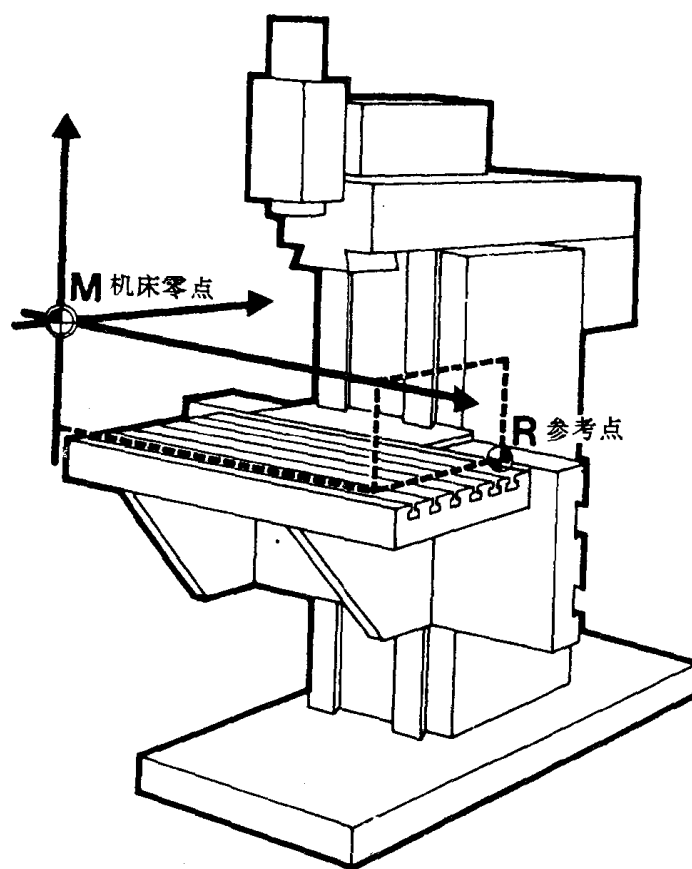
机床坐标系的原点称为机床零点($X=0, Y=0, Z=0$)。机床零点是机床上的一个固定点,由制造厂确定。它是其它所有坐标系,如工件坐标系、编程坐标系,以及机床参考点的基准点。CNC 车床的零点一般设在主轴前端面的中心。由于车床用以加工回转体零件,因此,其坐标系是从车床零点开始建立的 X、Z 轴二维坐标系。Z 轴与主轴平行,为纵向进刀方向,X 轴与主轴垂直为横向进刀方向,见图 2-2(a)。

CNC 铣床的零点位置,各生产厂家不一致。有的设置在机床工作台中心,有的设置在进给行程范围的终点。

CNC 机床参考点是用于对机床工作台(或滑板)与刀具相对运动的测量系统进行定标和控制的点。参考点的位置是在每个进给轴上用挡铁和限位开关精确地预先确定好的。因此,参考点对机床零点的坐标是一个已知数,一个固定值,见图 2-4。



(a) 车床



(b) 铣床

图 2-4 机床零点与参考点