



普通高等教育“十二五”规划教材
机械类专业系列教材

数控技术与数控机床

陈光明 主 编
汪 彬 钱 进 庄曙东 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划
机械类专业系列教材

数控技术与数控机床

主 编 陈光明

副主编 汪 彬 钱 进 庄曙东

编 写 徐汇音 沈春根 王志斌

主 审 周惠兴



TG659-43
144



北航

C1688413



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书简要介绍了数控技术与数控机床的基本概念、数控编程基础,较详细地介绍了计算机数控系统、数控机床检测装置、数控机床伺服驱动系统、数控加工工艺设计技术、数控机床典型机械结构设计及其功能部件选型,重点叙述了数控车床、数控铣床、加工中心等各类不同数控机床的编程、操作;同时,介绍了数控加工自动编程过程及 CAD/CAM 自动编程软件,详细地叙述了 UG 软件在数控加工自动编程中的应用,以及 UG 软件数控加工模块自动编程方法;另外,还介绍了数控机床科学选用和管理方面的知识。

全书注重理论联系实际,通过大量编程实例,将手工编程与自动编程紧密结合,强调内容的完整性和实用性,是一本实用性强、适用面广的教材及专业技术参考书。

本书可作为高等院校本科机械设计制造及其自动化专业、材料成型及控制工程、机械电子工程、自动化等专业的教材,也可作为高职高专机电类专业教材,还可供从事数控加工技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控技术与数控机床/陈光明主编. —北京:中国电力出版社, 2013.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4563-8

I. ①数… II. ①陈… III. ①数控机床-高等学校-教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 152624 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 517 千字

定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

本书是针对教育部“卓越工程师教育培养计划”、面向社会需求人才培养目标要求和应用型高校的教学特点进行编写的。在本书的编写过程中，编者力求从培养数控加工技术应用型人才角度出发，注重理论联系实际，通过大量在实践中已验证的实例，手工编程与自动编程紧密结合，强调内容的完整性和实用性，精选教学内容，多处关键内容是编者多年实践、教学的积累和研究成果的总结。

本书共分 11 章，主要内容包括数控技术与数控机床概述、计算机数控系统、数控机床检测装置、数控机床伺服驱动系统、数控机床的典型机械结构设计及其功能部件选型、数控加工工艺与数控编程基础、数控车削加工技术、数控铣削加工技术、加工中心加工技术、数控加工自动编程技术、数控机床的科学选用和管理技术。各章最后均有思考题与习题，以便学员学习和训练。

本书第 1 章由南京农业大学陈光明编写，第 2~4 章由南京农业大学钱进编写，第 5、6 章由河海大学庄曙东编写，第 7 章由苏州大学徐汇音编写；第 8、9 章由苏州大学汪彬编写；第 10 章由江苏大学沈春根编写；第 11 章由三江学院王志斌编写。本书由陈光明任主编，汪彬、钱进、庄曙东任副主编。

本书由中国农业大学周惠兴教授主审，他对本书提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢！

由于编者的水平和经验所限，书中难免有欠妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者
2013 年 5 月

1 绪论	30
1.1 数控技术的发展概况	30
1.2 数控技术的发展趋势	31
1.3 数控技术的发展现状	32
1.4 数控技术的发展前景	33
1.5 数控技术的发展对策	34
2 数控机床的组成与分类	35
2.1 数控机床的组成	35
2.2 数控机床的分类	36
3 数控机床的坐标系	37
3.1 数控机床的坐标系	37
3.2 数控机床的坐标系	38
3.3 数控机床的坐标系	39
3.4 数控机床的坐标系	40
3.5 数控机床的坐标系	41
3.6 数控机床的坐标系	42
3.7 数控机床的坐标系	43
3.8 数控机床的坐标系	44
3.9 数控机床的坐标系	45
3.10 数控机床的坐标系	46
3.11 数控机床的坐标系	47
3.12 数控机床的坐标系	48
3.13 数控机床的坐标系	49
3.14 数控机床的坐标系	50
3.15 数控机床的坐标系	51
3.16 数控机床的坐标系	52
3.17 数控机床的坐标系	53
3.18 数控机床的坐标系	54
3.19 数控机床的坐标系	55
3.20 数控机床的坐标系	56
3.21 数控机床的坐标系	57
3.22 数控机床的坐标系	58
3.23 数控机床的坐标系	59
3.24 数控机床的坐标系	60
3.25 数控机床的坐标系	61
3.26 数控机床的坐标系	62
3.27 数控机床的坐标系	63
3.28 数控机床的坐标系	64
3.29 数控机床的坐标系	65
3.30 数控机床的坐标系	66
3.31 数控机床的坐标系	67
3.32 数控机床的坐标系	68
3.33 数控机床的坐标系	69
3.34 数控机床的坐标系	70
3.35 数控机床的坐标系	71
3.36 数控机床的坐标系	72
3.37 数控机床的坐标系	73
3.38 数控机床的坐标系	74
3.39 数控机床的坐标系	75
3.40 数控机床的坐标系	76
3.41 数控机床的坐标系	77
3.42 数控机床的坐标系	78
3.43 数控机床的坐标系	79
3.44 数控机床的坐标系	80
3.45 数控机床的坐标系	81
3.46 数控机床的坐标系	82
3.47 数控机床的坐标系	83
3.48 数控机床的坐标系	84
3.49 数控机床的坐标系	85
3.50 数控机床的坐标系	86
3.51 数控机床的坐标系	87
3.52 数控机床的坐标系	88
3.53 数控机床的坐标系	89
3.54 数控机床的坐标系	90
3.55 数控机床的坐标系	91
3.56 数控机床的坐标系	92
3.57 数控机床的坐标系	93
3.58 数控机床的坐标系	94
3.59 数控机床的坐标系	95
3.60 数控机床的坐标系	96
3.61 数控机床的坐标系	97
3.62 数控机床的坐标系	98
3.63 数控机床的坐标系	99
3.64 数控机床的坐标系	100
3.65 数控机床的坐标系	101
3.66 数控机床的坐标系	102
3.67 数控机床的坐标系	103
3.68 数控机床的坐标系	104
3.69 数控机床的坐标系	105
3.70 数控机床的坐标系	106
3.71 数控机床的坐标系	107
3.72 数控机床的坐标系	108
3.73 数控机床的坐标系	109
3.74 数控机床的坐标系	110
3.75 数控机床的坐标系	111
3.76 数控机床的坐标系	112
3.77 数控机床的坐标系	113
3.78 数控机床的坐标系	114
3.79 数控机床的坐标系	115
3.80 数控机床的坐标系	116
3.81 数控机床的坐标系	117
3.82 数控机床的坐标系	118
3.83 数控机床的坐标系	119
3.84 数控机床的坐标系	120
3.85 数控机床的坐标系	121
3.86 数控机床的坐标系	122
3.87 数控机床的坐标系	123
3.88 数控机床的坐标系	124
3.89 数控机床的坐标系	125
3.90 数控机床的坐标系	126
3.91 数控机床的坐标系	127
3.92 数控机床的坐标系	128
3.93 数控机床的坐标系	129
3.94 数控机床的坐标系	130
3.95 数控机床的坐标系	131
3.96 数控机床的坐标系	132
3.97 数控机床的坐标系	133
3.98 数控机床的坐标系	134
3.99 数控机床的坐标系	135
3.100 数控机床的坐标系	136
4 数控机床的伺服驱动系统	137
4.1 数控机床的伺服驱动系统概述	137
4.2 步进电动机及其驱动控制系统	138
4.3 直流伺服电动机及其速度控制	139
4.4 交流伺服电动机及其速度控制系统	140
4.5 直线电动机及其在数控机床中的应用	141
4.6 思考题与习题	142
5 数控机床的典型机械结构设计及其功能部件选型	143
5.1 数控机床的机械结构概述	143



目 录

前言

1 数控技术与数控机床概述	1
1.1 数控技术与数控机床的基本概念	1
1.2 数控机床的基本组成和工作原理	2
1.3 数控机床分类	4
1.4 数控机床的坐标系与工件坐标系	7
1.5 数控机床的加工特点及应用范围	11
1.6 常见数控机床简介	12
1.7 数控机床的主要性能指标	24
1.8 数控技术与数控机床的发展趋势	25
思考题与习题	27
2 计算机数控系统	29
2.1 CNC 系统的组成与工作过程	29
2.2 CNC 系统的硬件结构	33
2.3 CNC 系统的软件结构	38
2.4 CNC 系统的插补原理	41
思考题与习题	49
3 数控机床检测装置	50
3.1 概述	50
3.2 编码器	51
3.3 光栅	54
3.4 旋转变压器	58
3.5 感应同步器	62
3.6 激光干涉仪	65
思考题与习题	66
4 数控机床伺服驱动系统	67
4.1 数控机床伺服驱动系统概述	67
4.2 步进电动机及其驱动控制系统	70
4.3 直流伺服电动机及其速度控制	79
4.4 交流伺服电动机及其速度控制系统	86
4.5 直线电动机及其在数控机床中的应用	91
思考题与习题	95
5 数控机床的典型机械结构设计及其功能部件选型	97
5.1 数控机床的机械结构概述	97

5.2	数控机床的总体布局设计	99
5.3	数控机床的主传动系统与主轴部件设计	104
5.4	数控机床的进给传动系统及传动部件设计	110
5.5	数控机床的导轨与床身设计	117
5.6	数控机床的自动换刀装置	129
5.7	数控机床的主要辅助装置	138
	思考题与习题	144
6	数控加工工艺与数控编程基础	146
6.1	数控加工编程概述	146
6.2	数控加工程序结构组成与格式	148
6.3	数控系统指令代码	151
6.4	数控加工编程工艺基础	155
6.5	数控编程中的数值计算	164
	思考题与习题	166
7	数控车削加工技术	167
7.1	典型数控车床结构组成	167
7.2	数控车削加工工艺	173
7.3	数控车床基本指令编程方法	179
7.4	数控车削加工实例(以 FANUC 0i Mate-TD 为例)	203
	思考题与习题	207
8	数控铣削加工技术	209
8.1	典型的数控铣床结构组成及其加工特点	209
8.2	数控铣削加工工艺及其工装	215
8.3	数控铣床基本指令编程方法	223
8.4	数控铣床加工实例(以 FANUC 为例)	245
	思考题与习题	248
9	加工中心加工技术	250
9.1	典型加工中心的结构组成及其结构特点	250
9.2	数控加工中心的加工工艺	251
9.3	加工中心基本指令编程方法	258
9.4	加工中心加工实例(以 FANUC 为例)	263
	思考题与习题	274
10	数控加工自动编程技术	277
10.1	自动编程基本概述	277
10.2	图形交互自动编程的工作原理和基本流程	281
10.3	CAD/CAM 集成编程及其常见商业软件	283
10.4	UG NX CAD/CAM 集成编程的应用	286
	思考题与习题	305
11	数控机床的科学选用和管理技术	307

1 数控技术与数控机床概述

1.1 数控技术与数控机床的基本概念

1.1.1 数控技术的基本概念

数控技术是综合了计算机、自动控制、电动机、测量、监控、机械制造等学科领域成果而形成的一门技术。

数控技术,简称数控(numerical control, NC),是利用数字化信息对机械运动及其加工过程进行自动控制的技术。用来实现数字化信息控制的硬件和软件的整体称为数控系统,数控系统的核心是数控装置。由于现代数控系统一般都采用了计算机进行控制,因此数控技术也称为计算机数控(computer numerical control, CNC)技术,它是采用计算机实现数字程序控制的技术。

数控技术首先在机床行业产生并得到广泛应用。数控机床诞生于美国。1948年,美国帕森斯公司由于生产飞机复杂零件的需要,在研制加工直升机叶片轮廓检验用样板的机床时,提出了数控机床的初始设想,后受美国空军委托与麻省理工学院(MIT)合作研究,并于1952年试制了世界上第一台三坐标数控立式铣床,它是伺服系统与刚刚发展起来的数字计算机技术相结合而产生的,其数控系统采用电子管。60多年来,随着电子工业与计算机技术的发展,数控系统的更新换代十分迅速。主要经历了以下几个阶段:

第一代数控系统(1952~1959年):采用电子管元件构成的硬件数控系统。

第二代数控系统(1959~1965年):采用晶体管电路为主的硬件数控系统。

第三代数控系统(1965年开始):采用中小规模集成电路的硬件数控系统。

第四代数控系统(1970年开始):采用大规模集成电路的小型通用电子计算机数控系统。

第五代数控系统(1974年开始):采用微处理机和微型计算机控制的数控系统。

第六代数控系统(1990年开始):采用工控PC机的通用CNC系统。

前三代为第一阶段,数控系统主要是由硬件连接构成,称为硬件数控;后三代称为计算机数控,其功能主要由软件完成。

随着数控系统的发展,其功能不断增多,可靠性不断提高,使用灵活性和方便程度不断提高,价格不断下降。与此同时,伺服系统和测量元件的性能不断改善,精度也有所提高。

1.1.2 数控机床的基本概念

1952年,世界上第一台数控机床在美国问世,成为世界机械工业史上一件划时代的事件,推动了机床工业的发展。

数控机床是指采用了数控技术进行控制的机床。数控机床是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够处理加工程序,控制机床自动完成各种加工运动和辅助运动。数控机床是数字控制机床(numerically controlled machine tool)的简称,也称NC机床或CNC机床,是为了满足单件、小批量、多品种自动化生产的需要而研制的一种灵活、高效、通用的柔性自动化机床。它综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量、新型机械结构等

多方面的技术成果。数控机床与普通机床加工零件的区别就在于数控机床是按照“程序”自动加工零件，而普通机床要由人来操作。数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向。随着机床数控技术的发展，数控机床在机械制造业中的地位将越来越重要。

1.1.3 数控机床加工零件的基本工作过程

在数控机床上加工零件时，首先要由编程人员或操作者根据零件加工图样的要求进行工艺分析，确定合适的数控加工工艺（如确定零件加工路线、工艺参数、刀具数据等），再按数控机床编程手册规定的数控代码形式编制零件数控加工程序。然后，通过输入装置把数控加工程序输入到数控系统，在数控系统控制软件的支持下，经过处理与计算后，发出相应的控制指令，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，从而进行零件的切削加工。数控机床加工零件的过程如图 1-1 所示。

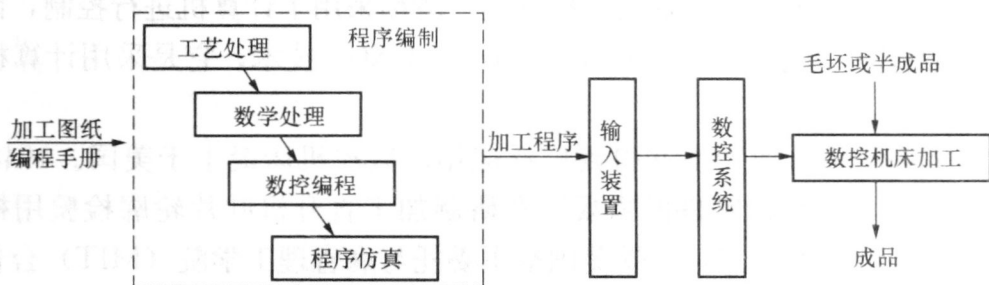


图 1-1 数控机床加工零件的过程

1.1.4 数控加工与数控加工程序

数控加工是根据被加工零件的图样和工艺要求，编制成以数码形式表示的程序，输入到机床的数控系统中，以控制刀具与工件的相对运动，从而加工出合格零件的方法。数控加工程序是数控机床自动加工零件的工作指令，是把零件的加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数（主轴转速、进给量、背吃刀量）、辅助功能（换刀、主轴转向、切削液开关）等，按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成程序。因此，为了使数控机床能根据零件加工的要求进行动作，必须将这些要求以机床数控系统能够识别的指令形式编成指令代码。这种把根据被加工零件的图样和工艺要求按规定格式编制成的数字化程序称为数控加工程序。从分析零件图纸开始，经过工艺分析、数学处理到获得数控机床所需的数控加工程序的全过程称为数控编程。

1.2 数控机床的基本组成和工作原理

1.2.1 数控机床的基本组成

数控机床主要由数控装置、伺服系统、测量装置和机床本体组成，其基本组成如图 1-2 所示。

（1）数控装置。数控装置是数控机床的核心，它的功能是接受输入装置输入的加工信息，经过系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，发出相应的脉冲送给伺服系统，通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。数控系统是一种程序控制系统，它能逻辑地处理输入到系统中的数控加工程序，控制数控机床运动并加工出零件。

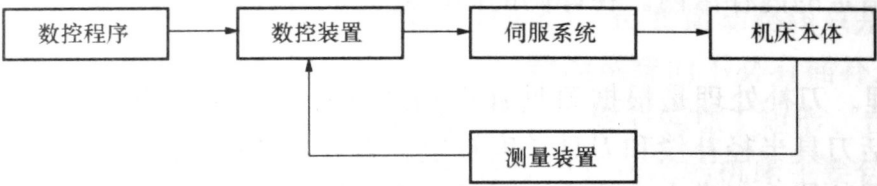


图 1-2 数控机床的结构组成

(2) 伺服系统。伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，它是数控系统的执行部分。由机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统，它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移量。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统。根据控制方式的不同，伺服系统可分为开环、闭环和半闭环伺服系统。

(3) 测量装置。在闭环和半闭环伺服系统中配有位置测量装置，直接或间接测量执行部件的实际位移量。

(4) 机床本体。数控机床本体主要包括主运动部件，进给运动执行部件（如工作台、刀架及其传动部件和床身立柱等支撑部件），此外还有冷却、润滑、转位和夹紧装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、更换刀具的机械手等部件。数控机床的本体和机械部件的结构设计方法基本同普通机床类似，只是在精度、刚度、抗振性等方面要求更高，尤其是要求相对运动表面的摩擦系数要小，传动部件之间的间隙要小，而且传动和变速系统要便于实现自动控制。

1.2.2 数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件时，数控系统需要对用户输入的加工程序进行一系列数据转换，最后将控制指令输出到伺服驱动装置，驱动机床的执行元件完成零件的加工。数控程序的执行实际上是不断地向伺服系统发出运动指令。数控系统在执行数控程序的同时，还要实时地进行各种运算，来决定机床运动机构的运动规律和速度。伺服系统在接收到数控系统发来的运动指令后，经过信号放大和位置、速度比较，控制机床运动机构的驱动元件运动。机床运动机构的运动结果是刀具与工件产生相对运动，实现切削加工，最终加工出所需要的零件。数控机床的工作原理如图 1-3 所示。

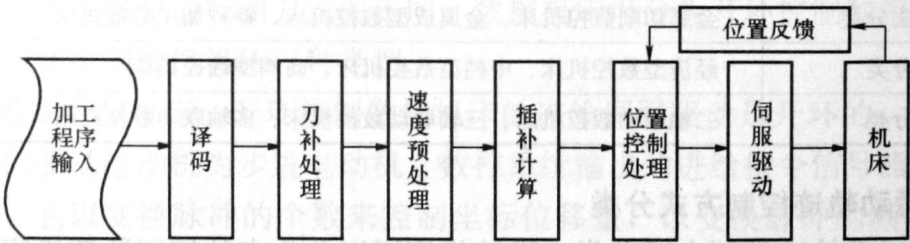


图 1-3 数控机床的工作原理

(1) 数控加工程序输入。加工之前，需要将零件数控加工程序、补偿数据等通过输入装置输入到机床的数控系统中。目前采用的输入方法主要有 USB 接口、RS232C 接口、MDI 手动输入、分布式数字控制 DNC 接口、网络接口等。

(2) 译码。数控系统通过译码程序来识别输入的内容。数控系统以一个程序段为单位，按照一定的语法规则把数控加工程序解释、翻译成计算机内部能够识别的信息，并以一定的

数据格式存放在指定的内存区内。在译码的同时还完成对程序段的语法检查，一旦有错，立即给出报警信息。

(3) 刀补处理。刀补处理是根据刀具补偿指令和补偿值来计算刀位点实际应到达的位置。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的任务是根据刀具半径补偿值和零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹；刀具长度补偿的任务是根据刀具长度补偿值和程序值计算出刀具轴向实际移动值。

(4) 速度预处理。计算本程序段内刀具的总位移量以及每个插补周期内的合成进给量。速度计算主要实现自动加减速处理，同时对机床允许的最低速度和最高速度的限制进行判别处理。

(5) 插补计算。根据给定的走刀轨迹类型（如直线、圆弧）及其特征参数，如直线的起点和终点、圆弧的起点、终点及半径，在起点和终点之间进行数据点的密化，并给相应坐标轴的伺服系统进行脉冲分配。插补的任务就是通过插补计算程序，根据程序规定的进给速度要求，完成在轮廓起点和终点之间的中间点的坐标值计算，即数据点的密化工作。

(6) 位置控制处理。对于闭环或半闭环控制系统，需要通过位置控制处理程序来计算理论指令坐标位置与实际坐标位置的偏差，通过偏差信号来对伺服驱动系统进行控制。

(7) 伺服控制与加工。伺服驱动系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，它是数控机床的执行部分。伺服系统接受插补运算后的脉冲指令信号，经放大后驱动伺服电动机，带动机床的执行部件运动，从而加工出零件。

1.3 数控机床分类

数控机床的品种规格繁多，分类方法不一。根据数控机床的功能、结构、组成不同，可从运动轨迹控制、伺服系统类型、加工工艺方法、功能水平等方面进行分类，见表 1-1。

表 1-1 数 控 机 床 的 分 类	
分类方法	数控机床类型
按运动轨迹分类	点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床
按伺服系统类型分类	开环控制数控机床、半闭环控制数控机床、闭环控制数控机床
按加工工艺方法分类	金属切削数控机床、金属成型数控机床、特种加工数控机床
按功能水平分类	经济型数控机床、中档型数控机床、高档型数控机床
按联动轴数分类	二轴联动数控机床、三轴联动数控机床、多轴联动数控机床

1.3.1 按运动轨迹控制方式分类

按数控机床运动轨迹控制方式分类，数控机床可以分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床三种类型。

(1) 点位控制数控机床。点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的精确定位，对于点与点之间运动轨迹的要求并不严格，在机床的运动部件的移动过程中，不进行切削加工，各坐标轴之间的运动是不相关的。为了实现既快又精确的定位，两点间位移的移动一般先快速移动，然后慢速趋近定位点，以保证定位精度。点位控制数控机床的运动轨迹如图 1-4 所示。具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。

(2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路线(轨迹),但其运动路线只是与机床坐标轴平行移动,也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必有插补运算功能),在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削加工,一般只能加工矩形、台阶形零件。直线控制数控机床的运动轨迹如图 1-5 所示。具有直线控制功能的机床主要包括比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。

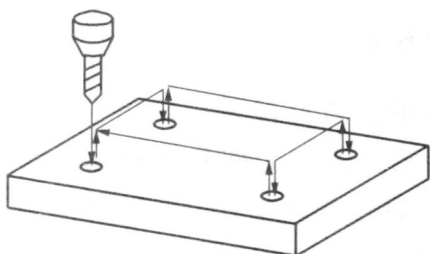


图 1-4 点位控制

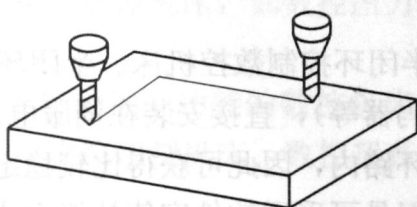


图 1-5 直线控制

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床,其控制特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求,必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此在这类控制方式中,就要求数控装置具有插补运算功能。所谓插补就是根据程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统内插补运算器的数学处理,把直线或圆弧的形状描述出来。即一边计算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合,在运动过程中刀具对工件表面进行连续切削加工,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。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等,其相应的数控系统称为轮廓控制数控系统。

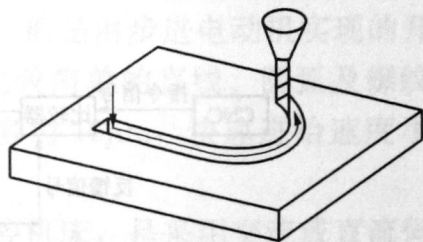


图 1-6 轮廓控制

1.3.2 按伺服系统类型分类

根据数控机床伺服驱动控制方式的不同,数控机床可分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床和闭环控制数控机床三种类型。

(1) 开环控制数控机床。开环控制数控机床的进给伺服驱动是开环的,即没有检测反馈装置,一般它的驱动电动机为步进电动机。数控系统输出的进给指令信号通过脉冲分配器来控制驱动电路,它以变换脉冲的个数来控制坐标位移量,以变换脉冲的频率来控制位移速度,以变换脉冲的分配顺序来控制位移的方向。因此,这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。数控系统发出的指令信号流是单向的,所以不存在控制系统的稳定性问题,但由于机械传动的误差不经过反馈校正,故位移精度不高。进给系统的控制精度取决于步进电动机的步距精度及传动系统的传动精度。开环控制系统框图如图 1-7 所示。一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。另外,这种控制方式可以配置单片机或单板机作为数控装置,使得整个系统的价格降低。

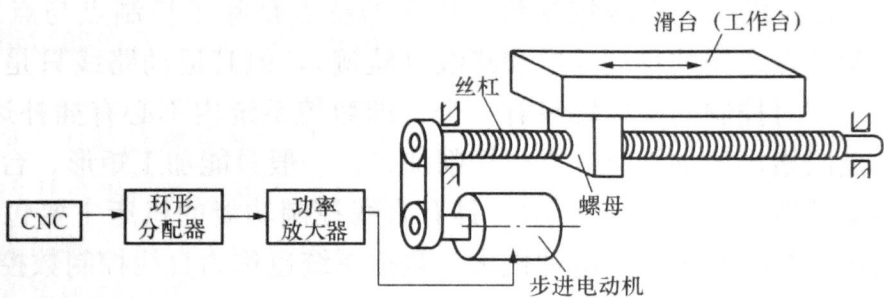


图 1-7 开环控制系统

(2) 半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床的位置反馈采用转角检测元件（目前主要采用编码器等），直接安装在伺服电动机或丝杠端部。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内，因此可获得比较稳定的控制特性，丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正，但是可采用软件定值补偿方法来适当提高其精度。这种机床进给系统的控制精度取决于测量元件的精度和传动系统的传动精度。目前，大部分数控机床采用半闭环控制方式，其控制系统的框图如图 1-8 所示。

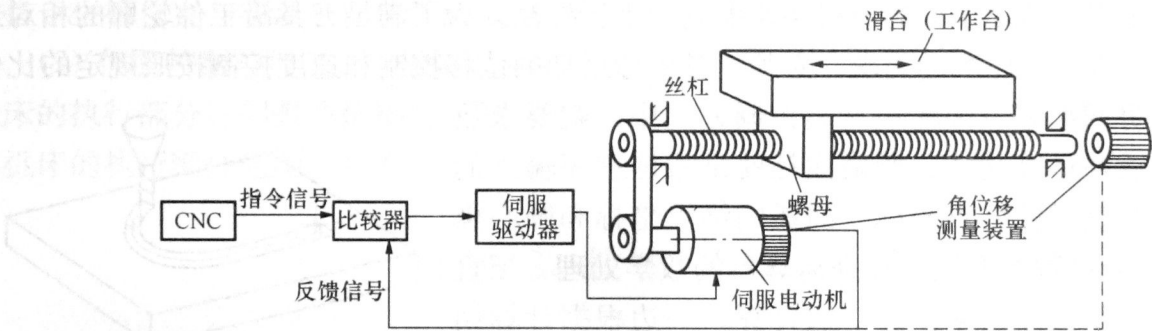


图 1-8 半闭环控制系统

(3) 闭环控制数控机床。闭环控制数控机床的位置反馈装置采用直线位移检测元件（目前一般采用光栅尺），安装在机床的床鞍部位，即直接检测机床坐标的直线位移量，通过反馈可以消除从电动机到机床床鞍的整个机械传动链中的传动误差，从而得到很高的机床静态定位精度。但是，由于在整个控制环内，许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性，并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比又非常大。这为整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难，系统的设计和调整也都相当复杂。这种机床进给系统的控制精度取决于测量元件的精度，其控制系统的框图如图 1-9 所示。

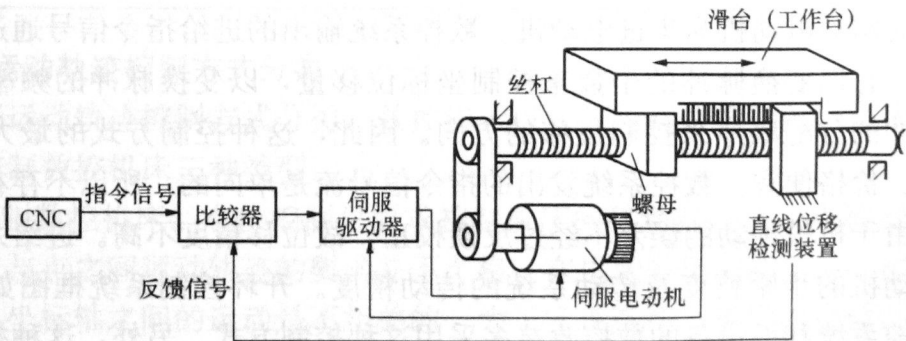


图 1-9 闭环控制系统

1.3.3 按加工工艺方法分类

按加工工艺用途分类,数控机床可分为金属切削数控机床、金属成型数控机床、特种加工数控机床等,也可分为普通数控机床(指加工用途、加工工艺单一的机床)和加工中心。

(1) 金属切削加工数控机床。金属切削加工数控机床是指具有切削加工功能的数控机床,如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、加工中心、数控齿轮加工机床等。

(2) 金属成型加工数控机床。金属成型加工数控机床是指通过物理方法改变工件形状功能的数控机床,通常指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、数控折弯机、数控弯管机等。

(3) 特种加工数控机床。特种加工数控机床是具有特种加工功能的数控机床,如数控电火花加工机床、数控线切割机床、激光加工机床、数控火焰切割机床、数控超高压水射流切割机等。

(4) 其他类型。还有一些广义上的数控装备,如数控装配机、数控测量机、机器人等。

1.3.4 按功能水平分类

按数控系统的功能水平,数控机床可以分为经济型、中档型和高档型三种类型。这种分类方法目前并无明确的定义和确切的分类界限,不同国家分类的含义不同,不同时期的含义也在不断发展变化。

(1) 经济型数控机床。经济型数控机床的进给伺服驱动一般是由步进电动机实现的开环驱动,功能简单,价格低廉,精度中等,能满足加工形状比较简单的直线、圆弧及螺纹加工。一般控制轴数在3轴以下,脉冲当量(机床分辨率)多为 $10\mu\text{m}$,快速进给速度小于 $10\text{m}/\text{min}$ 。

(2) 中档型数控机床。中档型数控机床也称为普及型数控机床,是采用交流或直流伺服电动机实现半闭环驱动,能实现4轴或4轴以下联动控制,脉冲当量为 $1\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$,一般采用16位或32位处理器,具有RS232C通信接口、DNC接口和内装PLC,具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。

(3) 高档型数控机床。高档型数控机床是指加工复杂形状的多轴联动数控机床或加工中心,功能强,工序集中,自动化程度高,柔性高。一般采用32位以上的微处理器,形成多CPU结构。采用数字化交流伺服电动机形成闭环驱动。目前开始采用的直线伺服电动机,能实现5轴以上联动,脉冲当量为 $0.1\sim 1\mu\text{m}$,进给速度可达 $100\text{m}/\text{min}$ 以上。高档型数控机床具有宜人的图形用户界面,有三维动画功能,能进行加工仿真检验;同时具有多功能智能监控系统和面向用户的宏程序功能;具有智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定;具有网络接口,能实现计算机联网和通信功能等。

1.4 数控机床的坐标系与工件坐标系

1.4.1 数控机床的坐标系及坐标轴方向的确定

在数控编程时,为了描述机床运动坐标轴的名称及运动的正负方向,简化程序的编制,并保证所编制的程序对同一类机床具有互换性,目前国际上数控机床的坐标轴和运动方向均已标准化。

1. 数控机床坐标系的确定

(1) 刀具与工件相对运动的规定。在数控机床上，不论实际加工中是刀具运动还是工件运动，在编制数控程序时，总是认为刀具运动、工件静止，即采用刀具运动工件静止的原则。这样编程人员在编制数控程序时就可以依据零件图样。确定机床的加工过程，而不需考虑工件与刀具的实际运动情况。

(2) 数控机床坐标系的规定。为了确定数控机床的运动方向和运动距离，需要在机床上建立一个坐标系，这个坐标系就称为机床坐标系。数控机床上的标准机床坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系，如图 1-10 所示。伸出右手的大拇指、食指和中指，并相互垂直，则大拇指代表 X 坐标，其指向为 X 坐标正方向；食指代表 Y 坐标，其指向为 Y 坐标正方向；中指代表 Z 坐标，其指向为 Z 坐标正方向。围绕 X 、 Y 、 Z 坐标旋转的旋转坐标分别用 A 、 B 、 C 表示，根据右手螺旋法则，大拇指的指向为 X 、 Y 、 Z 坐标中任意轴的正方向，则其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A 、 B 、 C 的正方向。

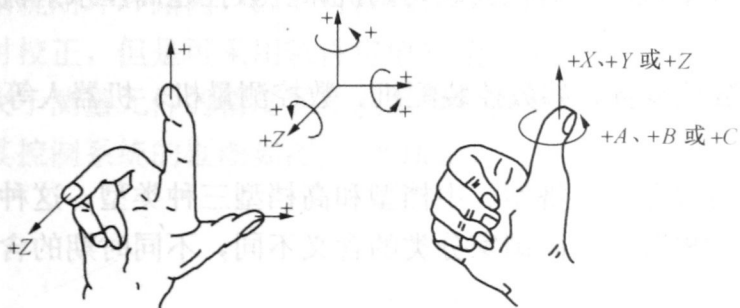


图 1-10 右手直角笛卡儿坐标系

2. 数控机床坐标轴方向的确定

(1) Z 坐标。 Z 坐标的运动方向是由传递切削动力的主轴确定，与主轴轴线平行的坐标轴为 Z 坐标方向，其正方向为刀具离开工件的方向（见图 1-11～图 1-14）。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，则选垂直于装夹平面的方向为 Z 坐标方向；如果机床无主轴（见图 1-12），则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向。

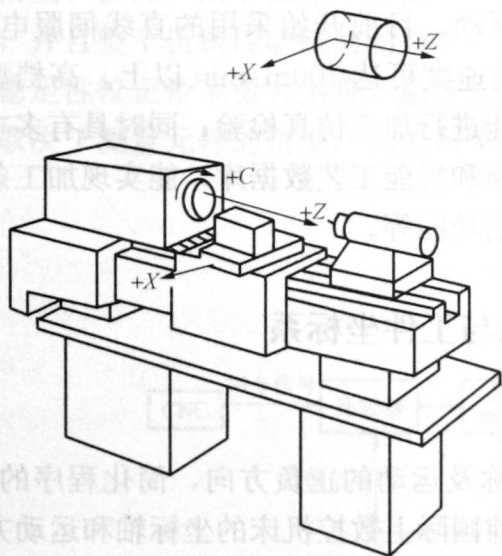


图 1-11 卧式车床

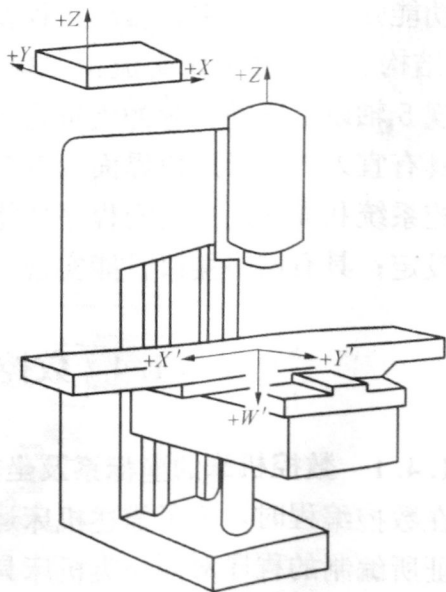


图 1-12 立式升降台铣床

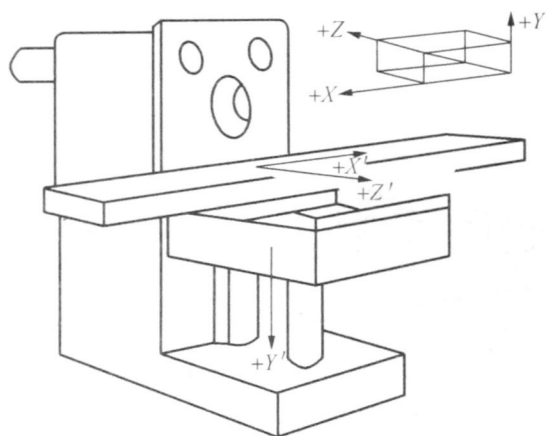


图 1-13 卧式升降台铣床

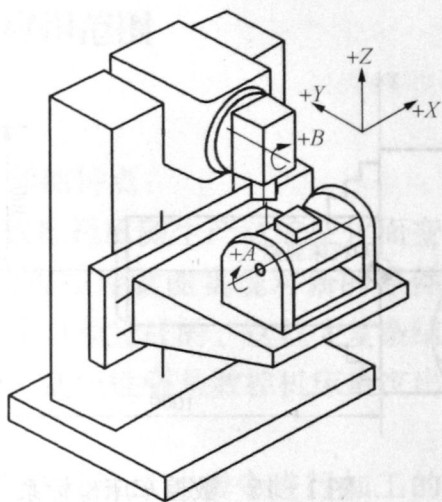


图 1-14 五轴联动数控铣床

(2) X 坐标。 X 坐标一般位于水平面内，平行于工件的装夹平面。对于工件旋转的机床（如车床等）， X 位于工件径向，且平行于横滑座，其正方向为刀具离开工件的方向，如图 1-11 所示。对于刀具旋转的机床（如镗铣床、钻床等），如果 Z 坐标水平，当从刀具主轴向工件看时， X 坐标的正方向指向右方；如果 Z 坐标垂直，当从刀具主轴向立柱看时， X 坐标的正方向指向右方。

(3) Y 坐标。在确定 X 坐标和 Z 坐标的正方向后，可以按照右手直角笛卡儿坐标系来判断 Y 坐标的正方向。 Y 坐标垂直于 X 坐标和 Z 坐标。

(4) 旋转坐标。围绕坐标轴 X 、 Y 、 Z 旋转的运动，分别定义为坐标 A 、 B 、 C ，它们的正方向按右手螺旋法则判定，如图 1-10 所示。

(5) 附加坐标系。为了便于编程和加工，有时还要设置附加坐标系。平行于 X 、 Y 、 Z 的坐标轴可分别指定为 U 、 V 、 W 或 P 、 Q 、 R 。

(6) 工件运动时的相反方向。对于工件运动而刀具不运动的机床，表示工件相对于刀具运动的正方向用 $+X'$ 、 $+Y'$ 、 $+Z'$ 表示，与 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 的运动方向正好相反。编程人员只需考虑 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 的运动方向即可。

3. 机床原点及参考点

机床原点即机床坐标系原点，是数控机床上设置的一个固定点。在机床制造完成后，机床原点便已确定，它是数控机床加工运动时进行定位的基准点。对于数控车床，机床原点一般设置在卡盘端面与主轴中心线的交点处；对于数控铣床，机床原点一般设置在 X 、 Y 、 Z 坐标正方向的极限位置上。

机床参考点是机床上一个固定的点，用于对机床的运动进行检测和控制。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，它在机床坐标系中的坐标值已输入数控系统中，因此参考点相对于机床原点的位置是一个已知数。参考点的位置可以通过调整限位开关位置的方法来改变。对于数控车床，参考点一般位于离开机床原点最远的极限位置，如图 1-15 所示；对于数控铣床，机床原点一般和参考点是重合的，如图 1-16 所示。

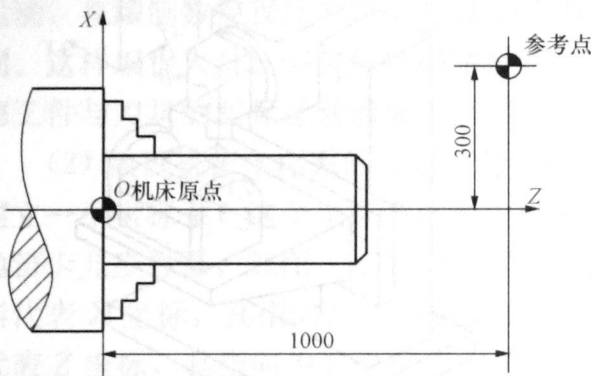


图 1-15 数控车床坐标系

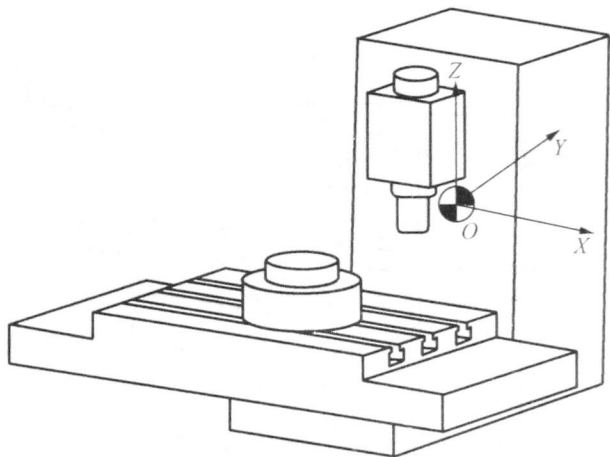


图 1-16 数控铣床坐标系

数控机床开机时，必须首先手动返回参考点，这样便确定了机床原点的位置，即建立了机床坐标系。只有确定了机床参考点，刀具（或工作台）移动才有基准。

1.4.2 工件坐标系

工件坐标系即为编程坐标系，是编程人员根据零件图样及加工工艺而建立的坐标系，用于确定零件几何图形上各几何要素（点、直线、圆弧等）。工件坐标系供编程时使用，因此建立工件坐标系时不必考虑工件毛坯在机床上的实际装夹位置。如图 1-17 和图 1-18 所示， $O_1X_1Y_1Z_1$ 即为工件坐标系。

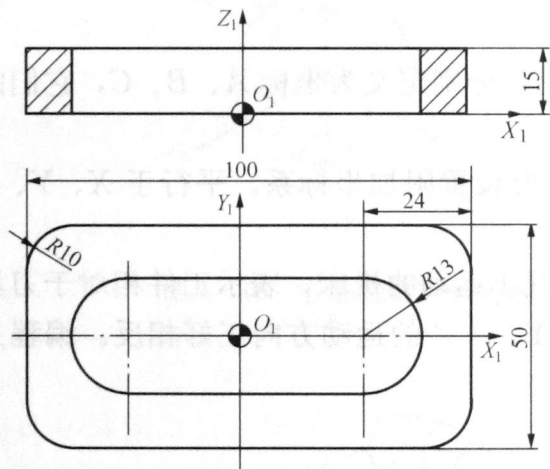


图 1-17 数控铣床工件坐标系

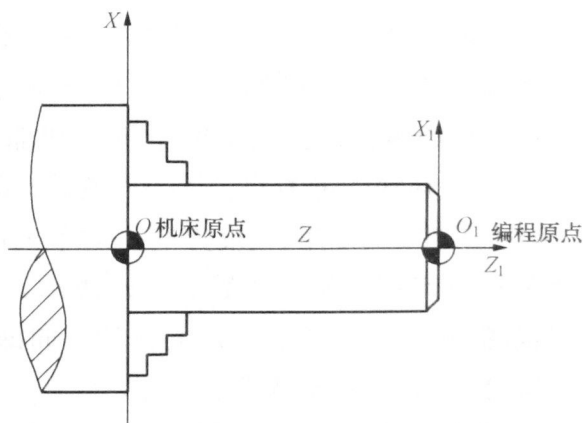


图 1-18 数控车床工件坐标系

编程原点（工件坐标系原点）是指根据零件图样及加工工艺要求选定编程坐标系原点。

选择编程原点时要注意以下几点：

- (1) 编程原点应尽量选择在设计基准或工艺基准上，以及尺寸精度高、粗糙度比较低的工件表面上。
- (2) 对于形状对称的零件，编程原点应尽量选择在对称中心上。
- (3) 对于车削编程时的回转体类零件，编程原点一般设置在零件的左端面或右端面上。

编程人员在编制程序时，只要按照零件图样就可以选定编程原点、建立编程坐标系、计算坐标值，而不必考虑工件毛坯装夹的实际位置。