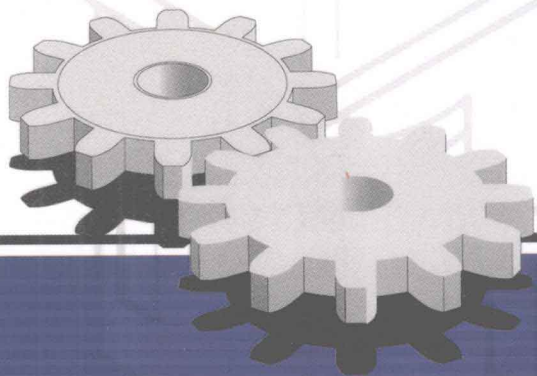
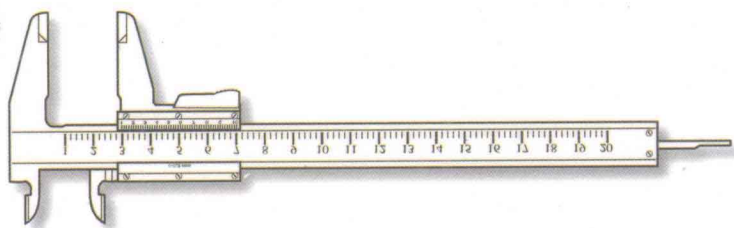
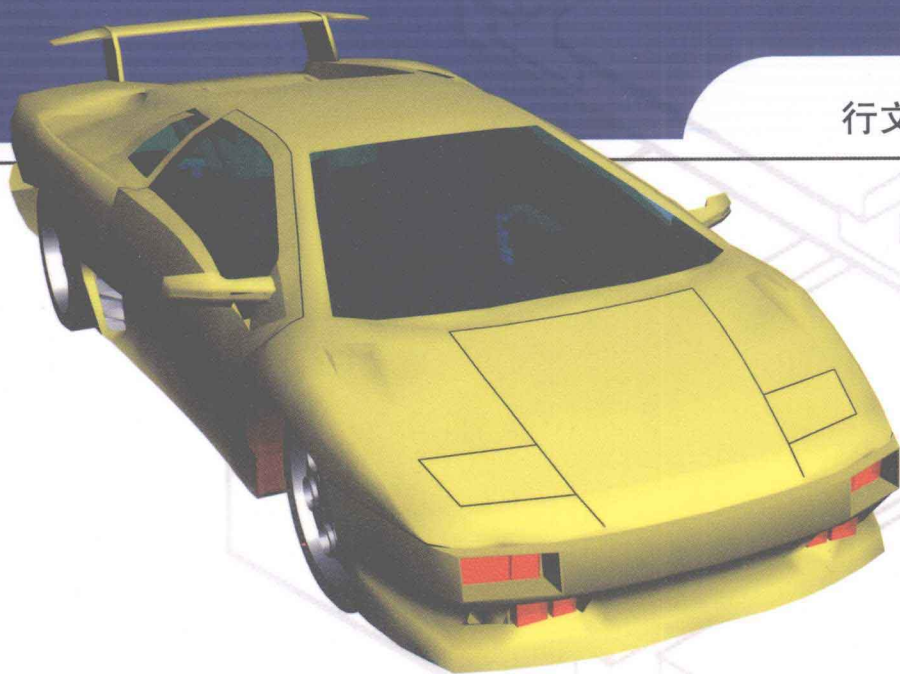




数控机床操作与维修



行文凯 编著

清华大学出版社

数控机床操作与维修

行文凯 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书主要在介绍数控机床的理论基础上,系统讲述数控车铣床、一般加工中心的手工编程、自动编程、操作加工和维修,尤其在维修方面总结出独特思想和许多实用的方法。全书共 11 章:绪论;数控机床、车床、铣床的操作与维护;加工中心的操作与维护;数控机床故障诊断;数控系统的自诊断功能及故障处理;数控机床的参数故障、机械故障的诊断;数控机床典型故障诊断维修;最后是数控机床的自动编程实例。

本书可作为高等工科院校、高等职业教育院校机械类专业和数控及模具等相关专业的教材或教学参考书,也可作为数控机床的操作、维修人员的培训教材或参考读物。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控机床操作与维修/行文凯编著. —北京:清华大学出版社,2009.1

ISBN 978-7-302-18397-6

I. 数… II. 行… III. ①数控机床—操作—高等学校—教材 ②数控机床—维修—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123090 号

责任编辑:魏江江 李 晔

责任校对:李建庄

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.25 字 数:462 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版 印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:027004-01

前 言

随着社会生产力和科学技术的迅速发展,机械产品日趋精密复杂,改型频繁,数控机床在各个机械制造企业的设备占有比例不断增加,成为大、中、小型企业的主要技术装备。由于数控机床综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等多方面的技术成果,具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高等优点,因此数控机床的应用必然是机械制造业发展方向。

当今世界各国制造业广泛应用数控技术以提高制造能力和水平,提高对动态、多变市场的适应能力,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。数控技术也是关系我国制造行业发展和综合国力提高的关键技术,尽快加速培养掌握数控技术的应用型人才已成为当务之急。随着数控机床大量进入制造行业,企业急需一大批既掌握数控机床理论又能够操作及维修数控设备的人员,而大部分企业在这方面的人才都严重不足,数控技术知识的普及和培训方面的市场需求相当迫切。为了培养学生的应用能力和实际动手能力,引导数控机床用户正确使用以发挥数控机床的效能,编者结合多年从事数控加工和数控教学的经验编写了本书,其主要内容有数控机床基本理论、数控机床的操作与维修技术基础、数控车床的操作与维护、数控铣床的操作与维护、加工中心的操作与维护技术、数控机床的故障诊断思路与方法、数控系统的自诊断功能及故障处理、数控机床参数故障及诊断、数控机床机械故障特点及诊断、数控机床典型故障诊断维修实例、数控机床的自动编程等实用技术。

本书充分考虑到数控机床的特点,注意理论与实际的结合,从基本介绍到实例分析都做了精心选择,力求做到内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂,采用的例子翔实可靠,且有一定的理论深度。宗旨是培养既能编制数控加工程序,又能操作、维修数控机床,同时掌握一定理论知识的实用型人才。

本书既可作为高等工科院校和高等职业院校机械类专业、数控和模具等有关专业的教材和教学参考书,也可供从事数控机床的操作、维修人员参考,或作为数控机床操作与维修的培训教材。

本书由行文凯、刘德平、黄明生等撰写,行帅征、林钜昇和刘兵参与了文字和图样的编辑与校对工作。

编 者
2008 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的工作原理	1
1.1.2 数控机床的组成	1
1.1.3 数控机床的分类	2
1.2 数控机床的数控系统	6
1.2.1 数控系统的插补原理	6
1.2.2 数控机床的伺服系统	6
1.2.3 数控机床的位置控制系统	7
1.3 数控机床的坐标与原点偏置	8
1.3.1 数控机床位置检测装置	8
1.3.2 数控机床的坐标系	9
1.3.3 工件坐标系与零点偏置	10
1.4 数控机床的刀具补偿	10
1.4.1 刀具的位置补偿	11
1.4.2 刀具的半径补偿	11
1.5 数控机床的特点及适应性	11
1.5.1 数控机床的特点	11
1.5.2 数控机床的适用范围	13
第 2 章 数控机床的操作与维修基础	14
2.1 数控加工程序	14
2.1.1 数控加工程序的编制方法	14
2.1.2 数控加工工艺分析及加工路线确定	16
2.1.3 数控程序的常用指令、结构与格式	20
2.1.4 程序编制实例	22
2.2 数控机床操作基础	25
2.2.1 数控机床的基本操作	25
2.2.2 数控机床操作的步骤及操作注意事项	29
2.3 数控机床维修基础	30
2.3.1 数控机床故障诊断特点和分类	30
2.3.2 数控机床维修的内容	32

2.3.3	数控机床维修前的基本要求	33
2.3.4	故障诊断及处理的基本方法	36
2.3.5	维修人员应具备的基础知识和技能	39
第3章	数控车床的操作与维修	41
3.1	数控车床的组成及特点	41
3.1.1	数控车床的组成	41
3.1.2	数控车床的特点	43
3.2	数控车床的种类	44
3.3	数控车床的验收标准	45
3.4	数控车床的基本操作	45
3.5	数控车床的加工工艺	50
3.5.1	数控车床加工工艺概述	50
3.5.2	数控加工工序的确定原则	51
3.5.3	数控加工工序的设计	52
3.6	数控车床的维修与维护	56
3.6.1	常见的电气系统故障	56
3.6.2	常见的液压系统故障	61
3.6.3	数控车床的维护与保养	63
第4章	数控铣床的操作技术	67
4.1	数控铣床概述	67
4.1.1	数控铣床的种类	67
4.1.2	数控铣床的主要功能	68
4.2	数控铣床的性能特点	69
4.2.1	数控铣床的技术参数及组成	69
4.2.2	数控铣床的控制面板和操作面板	71
4.3	数控铣床加工前工艺准备及刀具的选用	74
4.3.1	数控铣床的加工工艺准备的主要内容	74
4.3.2	刀具的选用	76
4.4	数控铣床的基本操作	78
4.4.1	加工前底准备及方式选择	78
4.4.2	机床的手动操作	79
4.4.3	机床的自动运行操作	80
4.4.4	机床的试运行	81
4.4.5	刀具偏置设定	81
4.4.6	程序的输入和编辑刀具偏置设定	82
4.4.7	数控铣床的一般操作步骤	83
4.5	数控铣床的应用举例	84

4.6	数控铣床的维护与保养	90
4.6.1	数控铣床操作过程中的注意事项	90
4.6.2	数控铣床的维护与保养	91
第5章	加工中心的操作技术及其日常维护与保养	93
5.1	加工中心概述	93
5.1.1	加工中心的基本功能与特点	93
5.1.2	加工中心的分类	93
5.1.3	加工中心的结构	96
5.1.4	加工中心的其他装置	102
5.2	加工中心的操作面板及其操作	109
5.2.1	加工中心的操作面板简介	109
5.2.2	加工中心的基本操作	111
5.3	工件装夹与找正操作	124
5.3.1	工件的装夹与找正	124
5.3.2	工件坐标的建立	127
5.3.3	工件装夹与找正举例	133
5.4	加工中心刀具的应用	136
5.4.1	加工中心对刀具的基本要求	136
5.4.2	标准刀柄与刀具系统	137
5.4.3	孔的加工方法及其刀具	140
5.4.4	面加工方法及其刀具	144
5.4.5	加工中心的对刀方法	146
5.5	加工中心的应用举例	147
5.6	加工中心的日常维护与保养	150
5.6.1	日常维护与保养	150
5.6.2	安全操作技术	150
5.6.3	安全操作规程	151
5.6.4	设备日常维护保养	152
第6章	数控机床故障诊断的思路与方法	155
6.1	数控机床故障概述	155
6.1.1	数控机床故障特点	155
6.1.2	数控机床故障分类	156
6.1.3	数控机床故障诊断的思路	158
6.1.4	故障诊断应遵循的原则	159
6.2	直观检查法	161
6.2.1	问	161
6.2.2	看	161

6.2.3	听	161
6.2.4	触	162
6.2.5	嗅	162
6.2.6	振	162
6.3	数控系统的自诊断法	163
6.3.1	报警故障分析	163
6.3.2	通过监视 PLC 状态数据诊断无报警故障	164
6.4	数控机床的参数检查法	165
6.5	其他常用的诊断方法	166
6.5.1	功能程序测试法	166
6.5.2	替代法	167
6.5.3	测量比较法	168
6.5.4	隔离法	169
6.5.5	原理分析法	169
6.5.6	局部升温法	170
第 7 章	数控系统的自诊断功能及故障处理	172
7.1	自诊断技术概述	172
7.2	启动诊断	172
7.2.1	概述	172
7.2.2	FANUC Oi 各模块的 LED 状态显示	173
7.3	根据报警信息在线诊断	178
7.3.1	在线诊断过程	178
7.3.2	西门子 810 系统的自诊断功能及报警处理方法	179
7.4	通过监视 PLC 状态数据诊断故障	182
7.4.1	数控机床的 PLC	182
7.4.2	PLC 与外部信息的交换	185
7.4.3	引起 PLC 状态数据异常的故障诊断	185
第 8 章	数控机床的参数故障及诊断	190
8.1	参数及其分类	190
8.1.1	数控机床的参数	190
8.1.2	数控机床参数的分类	190
8.2	参数异常的原因	194
8.3	参数的恢复及参数设定	194
8.3.1	机床参数的恢复	194
8.3.2	机床参数的设定和修改	196
8.4	参数故障的维修实例	199

第 9 章 数控机床机械故障特点及诊断	201
9.1 数控机床的启、停运动故障	201
9.1.1 机床启、停运动故障	201
9.1.2 机床不能动作,出现“死机”	201
9.1.3 机床返回基准点故障	201
9.2 数控机床各执行部件的运动故障	202
9.2.1 机床主运动系统故障	202
9.2.2 机床进给运动系统故障	204
9.2.3 刀具自动交换装置(ATC)及工作台自动交换装置(APC)故障	209
9.2.4 导轨副的故障	212
9.2.5 液压与气压系统故障	213
9.2.6 数控机床润滑系统的故障诊断	218
9.2.7 其他辅助装置故障	219
9.2.8 数控机床运动故障的综合诊断	219
9.2.9 故障实例综合分析	220
第 10 章 数控机床典型故障诊断维修	226
10.1 数控装置故障诊断维修	226
10.1.1 通电后屏幕不显示故障	226
10.1.2 数控机床发生手动、自动均不能执行的故障	227
10.1.3 机床不能自动运行故障	233
10.2 PLC 故障诊断维修	239
10.2.1 FANUC 数控系统 PMC 控制的故障诊断	239
10.2.2 西门子 PLC 软件故障与处理	242
10.3 主轴伺服系统故障诊断维修	247
10.3.1 常用主轴驱动系统介绍	247
10.3.2 主轴伺服系统故障形式及诊断方法	248
10.3.3 直流主轴驱动的故障诊断	250
10.3.4 交流主轴驱动的故障诊断	252
10.4 进给伺服系统故障诊断维修	254
10.4.1 常见进给驱动系统介绍	254
10.4.2 进给伺服系统的故障形式及诊断方法	255
第 11 章 数控机床的自动编程实例	259
11.1 数控机床自动编程概述	259
11.1.1 自动编程的概念	259
11.1.2 自动编程系统简介	260
11.1.3 数控图形自动编程系统的工作过程	263

11.2	Master CAM 软件概述	264
11.3	Master CAM 实例	266
11.3.1	郑州大学	266
11.3.2	绘制茶杯垫几何图形	271
11.3.3	绘制玩具车轮电极模	280
参考文献		294

第1章 绪 论

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的工作原理

数控机床加工零件时,根据所输入的数控程序,由数控装置控制机床执行机构的各种动作(包括机床主运动的变速、启停,进给运动的方向、速度和位移,以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启停等),使刀具与工件及其他辅助装置严格按照数控程序规定的顺序、路径和参数进行工作,从而加工出满足要求的零件。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床主要由以下几个部分组成,如图 1.1 所示。

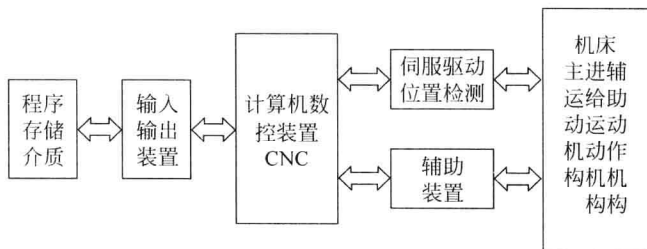


图 1.1 数控机床的组成

1. 程序存储介质

在数控机床加工零件时,首先根据零件图纸上的零件几何形状、尺寸和技术要求,确定加工工艺,然后编制出零件的加工程序。程序必须存储在某种存储介质上,如纸带、磁带或磁盘等。目前最常用的是八单位标准穿孔纸带和磁盘。

2. 输入输出装置

存储介质上记载的加工信息需要输入装置输送给机床数控系统,机床内存中的零件加工程序可以通过输出装置传送到存储介质上。输入输出装置是机床与外部设备的接口,目前输入装置主要有纸带阅读机、软盘驱动器、RS-232C 串行通信口、MDI 方式等。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它接受输入装置送到的程序和数据,经过数控装置的控制

软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,将各种指令信息输出给伺服系统,使设备按规定动作执行。

4. 伺服驱动系统、位置检测装置及辅助控制装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成,并与机床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相位移指令,控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中,还要使用位置检测装置间接或直接测量执行部件的实际进给位移,并与指令位移进行比较,再按闭环原理,将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统,主要用于实现对机床辅助功能 M、主轴速度功能 S 和换刀功能 T 的控制,可通过可编程逻辑控制器(PLC)来实现。

5. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括主运动部件、进给运动执行部件如工作台、拖板及其传动部件和床身立柱等支撑部件,还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心机床,还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。

1.1.3 数控机床的分类

随着数控技术的发展,数控机床出现了许多分类方法,但通常按以下最基本的 3 个方面进行分类。

1. 按工艺用途分类

按工艺用途分类,数控机床可分为:

- (1) 数控车床(NC Lathe)。
- (2) 数控铣床(NC Milling Machine)。
- (3) 数控镗床(NC Boring Machine)。
- (4) 数控钻床(NC Drilling Machine)。
- (5) 数控齿轮加工机床(NC Gear Milling Machine)。
- (6) 数控平面磨床(NC Surface Grinding Machine)。
- (7) 数控外圆磨床(NC External Cylindrical Grinding Machine)。
- (8) 数控轮廓磨床(NC Contour Grinding Machine)。
- (9) 数控工具磨床(NC Tool Grinding Machine)。
- (10) 数控坐标磨床(NC Jig Grinding Machine)。
- (11) 数控冲床(NC Punching Press)。
- (12) 数控电火花加工机床(NC Diesinking Electric Discharge Machine)。
- (13) 数控线切割机床(NC Wire Electric Discharge Machine)。
- (14) 数控激光加工机床(NC Laser Beam Machine)。
- (15) 加工中心(Machine Center)。

(16) 其他(如三坐标测量机等)。

随着数控技术的发展,数控机床在多功能、高精度、良好的加工质量能力方面会有较大发展,同时带来数控机床种类的更新与多样化。

2. 按控制的运动轨迹分类

1) 点位控制

点位控制数控机床的特点是机床的运动部件只能够实现从一个位置到另一个位置的精确运动,在运动和定位过程中不进行任何加工工序。如图 1.2 所示,数控系统只需要控制行程的起点和终点的坐标值,而不控制运动部件的运动轨迹,因为运动轨迹不影响最终的定位精度。因而,点位控制的几个坐标轴之间的运动不需要保持任何联系。为了尽可能减少运动部件的运动和定位时间,并保证稳定的定位精度,通常先以快速运动至接近终点坐标,然后再以低速准确运动到终点位置。减少因运动部件惯性引起的定位误差。例如数控钻床、数控冲床、数控点焊机及数控测量机等。

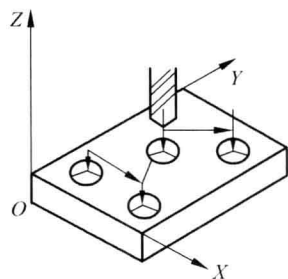


图 1.2 点位控制

2) 直线控制

直线控制数控机床的特点是机床的运动部件不仅要实现一个坐标位置到另一个坐标位置的精确移动和定位,而且能实现平行于坐标轴的直线进给运动或控制两个坐标轴实现斜线的进给运动(如图 1.3 所示),但不能加工复杂的工件轮廓。例如数控车床、数控铣床、数控磨床等。

3) 轮廓控制

轮廓控制数控机床的特点是机床的运动部件能够实现两个的坐标轴同时进行联动控制,如图 1.4 所示。它不仅要求控制机床运动部件的起点与终点坐标位置,而且要求控制整个加工过程每一点的速度和位移量,即要求控制运动轨迹,将零件加工成在平面内的直线、曲线表面或在空间的曲面。轮廓控制要比直线控制更为复杂,需要在加工过程中不断进行多坐标轴之间的插补运算,实现相应的速度和位移控制。很显然轮廓控制包含了实现点位控制和直线控制,例如加工中心。

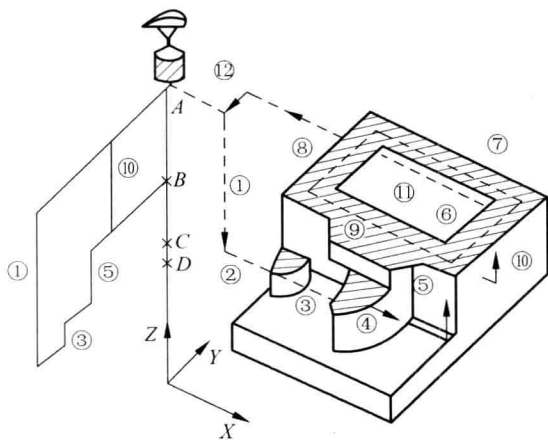


图 1.3 直线控制

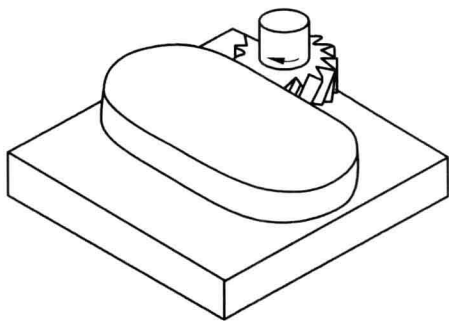


图 1.4 轮廓控制

3. 按控制方式分类

1) 开环控制

开环控制是指系统不带位置反馈装置的控制方式,如图 1.5 所示。通常用功率步进电机或电液伺服电机作为执行机构。输入的数据经过数控系统的运算,发出指令脉冲,通过环形分配器和驱动电路,使步进电机或电液伺服电机转过一个步距角。再经过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副,使执行机构(如工作台)移动或转动。移动部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。

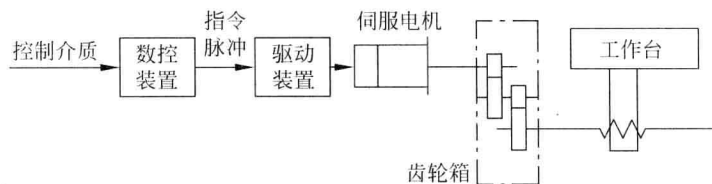


图 1.5 开环控制

开环控制具有结构简单和价格低廉等优点。但通常输出扭矩的大小受到了限制,而且当输入较高的脉冲频率时,容易产生失步,难以实现运动部件的快速控制。开环控制对运动部件的实际位移量是不进行检测的,因而不能进行运动误差的校正,步进电动机的步距角误差、齿轮和丝杠组成的传动链误差都将直接影响加工零件的精度。目前,开环控制已不能充分满足数控机床日益提高的对控制功率、快速运动速度和加工精度的要求。但是开环系统由于结构简单、控制方法简便,所以价格也便宜。对要求精度不高,且控制功率需求不太大的情况,开环系统还是可以用的。开环控制系统多用于经济型数控机床以及对旧机床的改造。

2) 半闭环控制

半闭环控制是在伺服电机或丝杠端部上安装有角位移测量装置(如感应同步器和光电编码器等),通过检测伺服电机或丝杠的转角,间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控系统中,由于滚珠丝杠螺母副和惯性较大的机床移动部件不包括在检测范围之内,滚珠丝杠螺母副和工作台部件均在反馈环路之外,其传动误差等仍然会影响工作台的位置精度,所以称为半闭环控制系统,如图 1.6 所示。

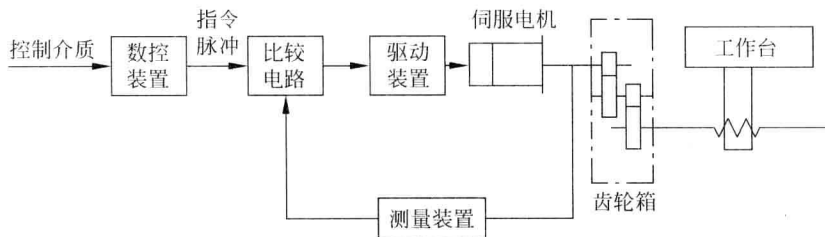


图 1.6 半闭环控制

半闭环伺服系统介于开环和闭环之间,由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单,因此装有精密滚珠丝杠螺母副和精密齿轮的半闭环系统被广泛地采用。目前已经把角位移测量元件与伺服电机设计成一个部件,使用起来更为方便。半闭环伺服系统的加工精度显然没有闭环系统高,但是由于采用了高分辨率的测量元件,所以这种控制方式仍可获

得比较满意的精度和速度。系统调试比闭环系统方便、稳定性好,成本也比闭环系统低,是一般数控机床常用的伺服控制系统。

3) 闭环控制

闭环控制系统是在机床移动部件上直接装有位置检测装置,将测量的结果直接反馈到数控装置中,与输入的指令位移进行比较,用偏差进行控制,使移动部件按照实际的要求运动,最终实现精确定位,如图 1.7 所示。闭环控制系统中机床工作精度主要取决于检测装置的精度,并不取决于传动系统精度。因此,采用高精度测量元件可以使闭环控制系统达到很高的工作精度。但是由于许多机械传动环节都包含在反馈环路内,而各种反馈环节具有丝杠与螺母、工作台与导轨的摩擦,而且各部件的刚性、传动链的间隙等都是可变的,因此机床的谐振频率、爬行、运动死区等造成的运动失步可能会引起振荡,使系统不易稳定,调试和维修比较复杂。闭环系统的检测精度和伺服传动链能够实现的补偿精度相匹配。

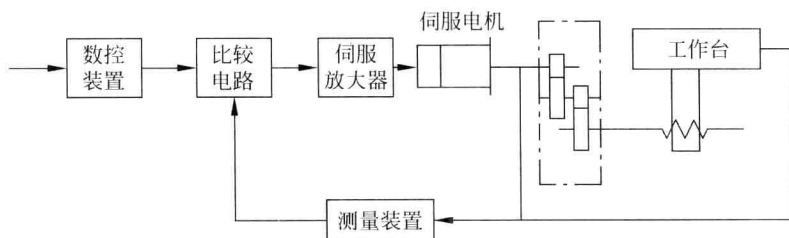


图 1.7 闭环控制

闭环伺服系统的优点是精度高、速度快,主要用在精度要求较高的数控镗铣床、数控超精车床、数控超精镗床等机床上。

4. 按性能水平分类

数控机床按照性能水平可以分为经济型、普及型和高级 3 类。

1) 经济型数控机床

经济型数控机床的控制系统比较简单,通常采用以步进电机作为伺服驱动元件的开环控制系统,分辨率为 0.01mm ,进给速度在 $8\sim 15\text{m/min}$ 之间,最多能控制 3 个轴,可实现 3 轴三联动以下的控制,一般只有简单的 CRT 字符显示或简单数码管显示。数控系统多采用 8 位 CPU 控制。程序编制方便,操作人员通过控制台上的键盘手动输入指令与数据或直接进行操作。经济型数控机床通常采用单板机或单片机数控系统,功能较简单、价格低廉,主要用于车床、线切割机床及旧机床的改造。

2) 普及型和高级数控机床

普及型和高级数控机床采用全功能数控系统,控制功能比较齐全,属于中、高档数控系统。通常采用半闭环的直流伺服系统或交流伺服系统,也采用闭环伺服系统。

普及型数控机床采用 16 位或 32 位微处理机的数控系统,机床进给系统中采用半闭环的交流伺服或直流伺服驱动,能实现 4 轴四联动以下的控制,分辨率为 $1\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 20\text{m/min}$,有齐全的 CRT 显示功能,能显示字符、图形,并具有人机对话功能,具有直接数字控制通信(Direct Numerical Control,DNC)接口。

高级数控机床在数控系统中采用 32 位或 64 位微处理器,进结系统中采用高响应特性

的伺服驱动,可控制 5 个轴,能实现 5 轴联动以上控制,分辨率可达到 $0.1\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 100\text{m/min}$,能显示三维图形,具有制造自动化协议(Manufacturing Automation Protocols,MAP)接口,具有联网功能。

1.2 数控机床的数控系统

1.2.1 数控系统的插补原理

在轮廓加工中,数控机床刀具的轨迹必须严格准确地按零件轮廓曲线运动。插补运算的作用是在已知的加工轨迹曲线的起点和终点间进行“数据点的密化”。插补是在每个插补周期内,根据 CNC(Computer Numerical Control,计算机数字控制)指令、进给速度计算出一个微小直线段的数据,刀具沿着微小直线段运动,经过若干个插补周期后,刀具从起点运动到终点,完成这段轮廓的加工。

如图 1.8 所示,加工曲线 AB 段, A 为起点, B 为终点。在每个插补周期内,计算出一个微小直线段的各坐标分量 $(\Delta X, \Delta Y)$,经若干个插补周期,可以计算出从起点 A 到终点 B 间各个微小直线段的坐标分量 $(\Delta X_1, \Delta Y_1)$ 、 $(\Delta X_2, \Delta Y_2)$ 、 $\cdots$ 、 $(\Delta X_n, \Delta Y_n)$ 。各坐标分量的计算可采用逐点比较插补法、数字积分插补法、时间分割插补法和样条插补计算法等。

被加工零件的外形轮廓是由直线、圆弧和其他曲线等几何元素构成,其中直线和圆弧是基本的几何元素,其他的曲线可用微小直线或圆弧逼近形成。数控机床的数控系统都具有直线和圆弧插补功能。在高级型数控机床的数控系统扩展功能或宏程序中还配有抛物线、渐开线、椭圆等插补计算功能。

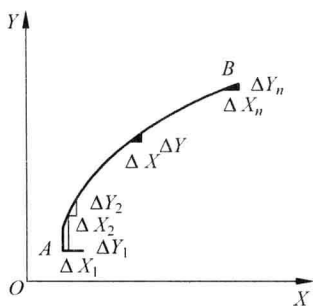


图 1.8 数控系统的插补原理

在数控机床的 CNC 中,插补则是由软件全部或部分实现其插补功能。由于用软件实现插补运算,比硬件插补器运算速度慢,在 CNC 系统中插补功能常分为粗插补和精插补两步完成。粗插补用软件实现,把一个程序段分割为若干微小直线段,精插补在伺服驱动模块中,把各微小直线段再进行密化处理,使加工轨迹在允许的误差范围之内。所以插补功能直接影响系统控制精度和速度,是数控机床的重要技术指标。

1.2.2 数控机床的伺服系统

数控机床的伺服系统是数控机床的数控系统与机床本体的联系环节。它是以机体运动部件的位置(或角度)和速度(或转速)为控制量的系统,包括主动伺服驱动系统和进给伺服驱动系统两部分。根据数控系统(CNC)发出的动作指令,伺服系统准确、快速地完成各坐标轴的进给运动,与主轴驱动相配合,实现对工件的高精度加工。因此,伺服驱动系统是数控机床的一个重要的组成部分,其性能的优劣直接影响零件的加工质量和生产效率。

不同类型的数控机床对伺服系统的要求也不尽相同。同一数控机床的主轴驱动与进给驱动对伺服系统的要求也有很大差别。归根到底,数控机床对伺服控制的要求,与任何系统对伺服控制的要求一样,包括精度、快速性与稳定性 3 个方面。

数控机床的精度,除了受到机械传动系统精度的影响之外,主要取决于伺服系统的调速范围的大小和伺服系统最小分辨率精度。高精度的数控机床为了保证尺寸精度和表面粗糙度的水平,有时要求进给速度低于 0.5m/min 。但是为了提高生产率,又要求其快速移动的速度达到 $12\sim 24\text{m/min}$,甚至超过 32m/min 。因此,调速范围可高达数万倍。

数控机床的进给系统实际上是一个位置随动系统。所以同位置随动系统一样,当指令位移以某一速度变化时,实际位移必须比指令位移滞后,这就是所谓的跟随误差。当数控机床的各坐标轴以不同的速度和不同的方向同时位移时,跟随误差就会造成加工尺寸和形状的误差。切削进给的速度越快,跟随误差对精度的影响就越大。提高伺服系统响应的快速性是减小跟随误差、提高进给速度的根本措施。但伺服系统的响应速度并不可以无限制提高,并且任何提高都要以成本的上升为代价。所以对伺服系统的响应速度的要求要限制在一个合理的范围之内。一般情况下,数控机床的进给响应时间应该在 200ms 以内。

稳定性是对伺服系统的最基本的要求,稳定性是指系统在给定输入或外界干扰作用下,能在短暂的调节过程后,达到新的或者恢复到原来的平衡状态。对伺服系统要求有较强的抗干扰能力,保证进给速度的均匀、平稳。稳定性直接影响数控加工的精度和表面粗糙度。

目前,在小型和经济型数控机床上还使用步进电机,中高档数控机床大多采用直流伺服电机和交流伺服电机。随着数控技术的发展,微处理器已开始应用于伺服系统中。高精度数控机床已经采用交流数字伺服系统,伺服电机的位置、速度等都已实现了数字化,并采用了新的控制理论,实现了不受机械负荷变动影响的高速响应伺服系统。而液压伺服系统由于发热大、效率低、不易维修等缺点,现已基本不采用。

1.2.3 数控机床的位置控制系统

数控系统的位置控制系统的功能是精确控制机床运动部件的坐标位置,快速而准确地执行由 CNC 装置发来的运动命令。

1. 数控系统的位置控制系统工作原理

数控系统的位置控制系统是一个双闭环系统,如图 1.9 所示。内环是速度环,作为一个独立的控制单元,它由速度调节器、电流调节器及功率驱动放大器等部分组成。速度控制单元的外环是位置环。位置控制系统是由位置控制模块、速度控制单元、位置反馈及检测等部分构成。其工作过程是:由 CNC 来的位置输入指令与位置反馈装置检测出的进给坐标的实际位移量进行比较,把比较得来的偏差信号,经过位置控制装置的运算,将结果输出到 D/A 转换器,变成电压信号,成为速度环给定信号,控制电机向消除偏差的方向旋转,直到偏差为零时,电机停止运动,到达指定位置。这样,进给坐标的实际位置就能跟随指令变化,构成一个位置控制系统。

2. 数控系统对位置控制系统的特点

(1) 位置控制系统具有较高稳定性,是数控系统正常工作的前提,它由控制系统的结构