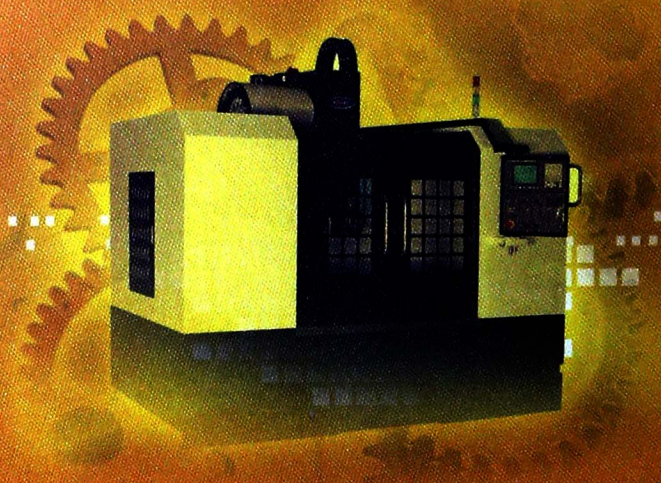


数控技术

SHUKONG
JISHU

◎主 编 蒲志新



014033125

TP273
712

数控技术

主 编 蒲志新

副主编 孙远敬 赵艳春 徐广明

卢万杰 王 洁



TP273
712

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北航

C1721352

内 容 简 介

本书内容主要包括数控机床的基础知识和数控技术的应用情况,对数控系统进行全面介绍,涉及检测装置、伺服系统、插补原理、工艺基础。本书理论联系实际,以学生的认知规律为依据,尽量使每个知识点都能做到理论和实际结合。在每章后面还安排了大量典型应用的习题,使学习者能够通过习题巩固学习的理论知识。

本书可以作为高等学校相关专业学生的教材,还可以作为高校教师和企业工程师的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/蒲志新主编. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 3

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8877 - 4

I. ①数… II. ①蒲… III. ①数控技术 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 031700 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 406 千字

版 次 / 2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

定 价 / 49.80 元

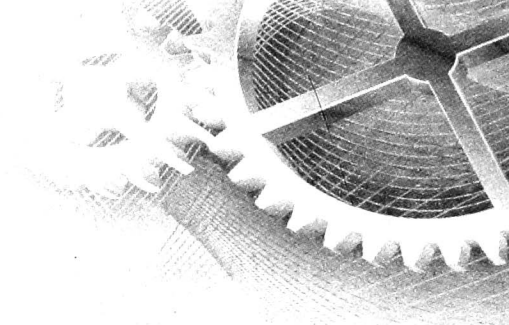
责任编辑 / 郭锦程

文案编辑 / 郭锦程

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

Qianyan

在经济全球化和全球信息化的形势下,“以信息化带动工业化、发挥后发优势,实现社会生产力的跨越式发展”已列入我国今后的战略发展规划。面向国民经济建设主战场,围绕制造业和经济发展的需求,整合科技资源、加快信息技术向传统产业渗透,是落实这一战略的重要举措。

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是实现信息化带动工业化的基础。

发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶持本国数控产业发展的政策措施。我国从发展数控技术的战略高度出发,结合国民经济发展的特点对数控技术进行创新性研究,重点开发“开放式”、“智能化”的数控车床、数控加工中心及数控电加工机床系列产品。数控技术已成为现代先进制造系统中不可缺少的基础技术。数控技术和数控机床的发展极大地推动了计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)与自动化工厂(FA)的发展。近年来,各种数控机床的柔性、精确性、可靠性、集成性和宜人性等方面越来越完善,它在自动化加工领域中的占有率也越来越高,越来越多的技术人员期望了解和掌握各种机床数控系统的基本工作原理。

为了适应数控技术和国民经济发展的需要,以及高等工科学校的教学要求,遵循为我国普通高等院校机械类专业编写精品教材的思路,参考了大量国内外资料,结合多年来的教学实践经验、数控系统科研成果和数控技术课程的教学改革,编写了这本教材。本教材力求取材新颖,力求反映数控技术和数控机床的基本知识、核心技术与最新技术成就,并兼顾到理论与实际的联系,取材和叙述上要求层次分明和合理,尽可能反映现代数控技术,反映机与电的结合,减少繁杂的数学推导,系统全面地介绍数控系统。

本书共分为9章,第1章介绍数控系统的组成、工作原理、分类、数控机床的特点及应用范围及数控技术的发展。第2章介绍数控加工的工艺设计,包括数控加工工艺特点、工艺设计主要内容、数控机床用刀具。第3章介绍数控编程方法、实例和编程中的数学处理方法。第4章介绍数控系统的插补和插补原理,主要介绍基准脉冲插补和数据采样插补。第5章介绍计算机数控装置的硬件和软件结构、数控系统工作原理。第6章介绍各种位置检测装置的工作原理、分类和适用场合。第7章是进给伺服系统,对伺服系统的类型、伺服电动机及调速和现代典型进给伺服系统作了较为详细的介绍。第8章是数控机床的机械结构,对主传动系统、进给传动系统和常见的传动机构进行了详尽的介绍。第9章介绍Pro/NC数控加工的应用及加工工艺过程,介绍了数控加工的操作流程和编程基础。本书对数控技术的几个

重要内容、核心技术和最新技术成果作了较为系统、深入的叙述。

本书可作为高等工科学学校机械工程及自动化专业、机械设计制造及自动化专业、机械电子工程专业的技术基础课教材，也可供从事数字控制机床设计和研究的工程技术人员参考。

本书由辽宁工程技术大学和沈阳化工大学的教师合作编写。其中第1、6、7章由蒲志新和赵艳春编写，第2、5章由孙远敬编写，第3、4章由卢万杰编写，第8章由王洁编写，第9章由徐广明编写。全书由蒲志新统稿和定稿。

本书在编写过程中，参阅了以往其他版本同类教材，同时参阅了有关工厂、科研院所的一些教材、资料和文献，并得到许多同行专家教授的支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于编者的水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

第1章 绪论	1
1.1 数控技术的产生与基本概念	1
1.1.1 数控技术的产生	1
1.1.2 数控技术的基本概念	2
1.2 数控系统的组成与分类	3
1.2.1 数控系统的组成	3
1.2.2 数控系统工作原理	4
1.2.3 数控系统的分类	5
1.3 数控机床的特点及应用范围	8
1.3.1 数控机床的特点	8
1.3.2 数控技术的应用范围	9
1.4 数控机床的性能指标	10
1.4.1 控制轴数与联动轴数	10
1.4.2 数控机床的精度	10
1.4.3 误差补偿功能	11
1.4.4 故障诊断功能	11
1.5 数控技术的发展	11
1.5.1 数控技术的发展现状	11
1.5.2 数控技术的发展趋势	12
第2章 数控加工工艺基础	14
2.1 数控加工工艺特点	14
2.2 数控加工工艺设计的主要内容	15
2.2.1 数控加工工艺内容的选择	15
2.2.2 数控加工工艺性分析	16

目 录

Contents

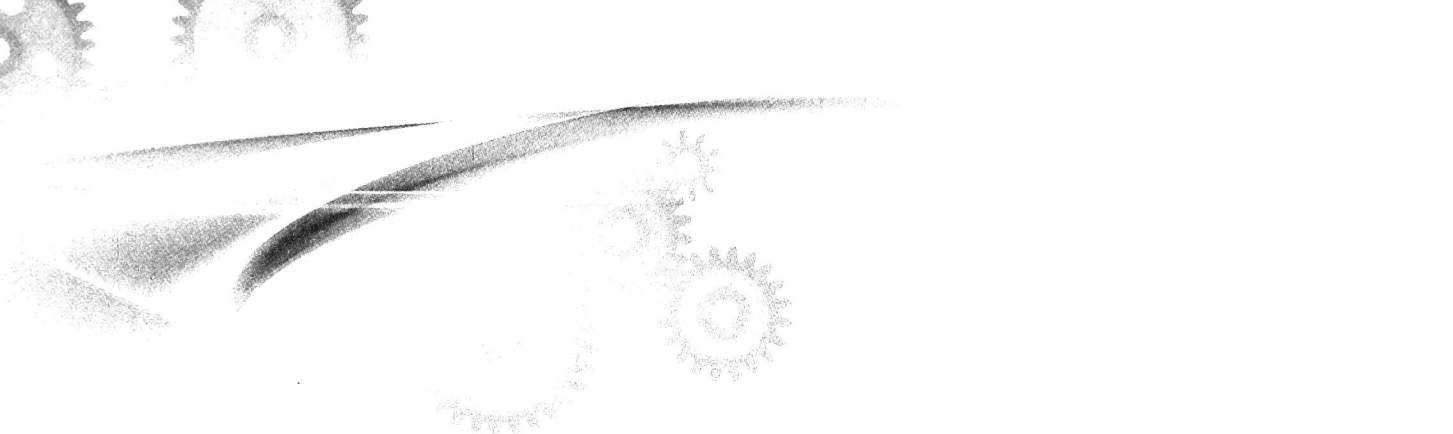
2.2.3	数控加工工艺路线的设计	19
2.2.4	零件的工艺规程	23
2.2.5	填写数控加工技术文件	23
2.3	数控机床用刀具	26
2.3.1	数控加工对刀具的要求	26
2.3.2	对刀具材料的基本要求	27
2.3.3	数控加工刀具的类型和应用	29
第3章	数控加工程序的编制	38
3.1	数控编程的基本概念	38
3.1.1	数控编程内容和步骤	39
3.1.2	数控编程方法简介	40
3.2	数控编程基础	41
3.2.1	机床坐标系	41
3.2.2	工件坐标系	44
3.2.3	绝对、增量坐标编程	45
3.2.4	编程尺寸的表示方法	45
3.2.5	数控程序结构与格式	45
3.3	数控系统的基本指令	48
3.3.1	准备功能 G 指令	49
3.3.2	辅助功能 M 指令	57
3.3.3	其他指令	59
3.3.4	基本指令的综合应用	60
3.4	数控车床的程序编制	61
3.4.1	数控车床的编程特点	61
3.4.2	数控车床的刀具补偿	62
3.4.3	数控车床的循环指令	64



目 录

Contents

3.4.4 数控车床编程实例	71
3.5 数控铣床的程序编制	74
3.5.1 数控铣床编程的特点	74
3.5.2 数控铣床刀具功能的实现	75
3.5.3 简化编程功能指令	76
3.5.4 镗铣类数控机床（加工中心）编程的特点	82
3.5.5 数控镗铣床编程实例	82
第4章 插补原理	88
4.1 概述	88
4.1.1 插补的基本概念	88
4.1.2 插补的分类	88
4.2 脉冲增量插补算法	90
4.2.1 逐点比较法	90
4.2.2 数字积分法	98
4.3 数据采样法	107
4.3.1 数据采样法简介	107
4.3.2 数据采样法直线插补基本原理	108
4.3.3 数据采样法圆弧插补	109
4.4 加工过程的进给速度控制	112
4.4.1 脉冲增量插补算法的进给速度控制	113
4.4.2 数据采样插补算法的进给速度控制	114
第5章 计算机数控系统	119
5.1 CNC 系统的组成和功能特点	119
5.1.1 CNC 系统的组成	119
5.1.2 CNC 装置的工作内容和功能特点	120



目 录

Contents

5.2	CNC 装置的硬件结构	121
5.2.1	单微处理器结构	122
5.2.2	多微处理器结构	123
5.2.3	开放式数控系统	124
5.3	CNC 装置的软件结构	126
5.3.1	CNC 装置的软件组成	126
5.4	CNC 系统的控制原理	130
5.4.1	零件程序的输入	130
5.4.2	译码	131
5.4.3	刀具补偿	131
5.4.4	插补	132
5.4.5	位置控制	132
5.4.6	速度控制	132
第6章	位置检测技术	136
6.1	位置伺服控制	136
6.1.1	位置伺服控制分类	136
6.1.2	幅值伺服控制	138
6.1.3	相位伺服控制	139
6.2	光电编码器	140
6.2.1	增量式编码器	140
6.2.2	绝对式编码器	141
6.2.3	编码器在数控机床中的应用	142
6.3	光栅尺和磁栅尺	143
6.3.1	光栅尺的结构及工作原理	143
6.3.2	光栅尺位移数字变换系统	144
6.3.3	磁栅尺的结构及工作原理	145

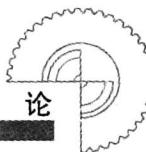
6.3.4	磁栅尺的检测电路	147
6.4	旋转变压器和感应同步器	148
6.4.1	旋转变压器的结构和工作原理	148
6.4.2	感应同步器的结构	150
6.4.3	感应同步器的工作原理	151
第7章	数控机床的伺服控制系统	154
7.1	概述	154
7.1.1	数控机床伺服系统的分类	154
7.1.2	数控机床对伺服系统的要求	157
7.1.3	机床伺服系统的发展	158
7.2	步进电动机开环位置控制系统	158
7.2.1	步进电动机的工作原理	158
7.2.2	步进电动机的主要特性	160
7.2.3	步进电动机的结构类型	162
7.2.4	步进电动机的环形分配器	162
7.2.5	功率放大器	165
7.2.6	步进电动机的细分驱动技术	167
7.3	直流伺服电动机及其速度控制	169
7.3.1	直流伺服电动机的结构与分类	169
7.3.2	直流伺服电动机的机械特性	170
7.3.3	直流伺服电动机的调速原理与方法	172
7.3.4	直流伺服电动机的速度控制单元	172
7.4	交流伺服电动机及其通度控制系统	178
7.4.1	交流伺服电动机的分类	179
7.4.2	交流伺服电动机的变频调速与变频器	181
7.4.3	SPWM 波调制	184

目 录

Contents

7.4.4	交流电动机控制方式	192
7.4.5	交流伺服电动机的矢量控制	193
7.5	直线电动机驱动技术	200
7.5.1	直线电动机的结构	200
7.5.2	直线电动机工作原理	200
7.5.3	直线电动机的特性	201
第8章	数控机床的机械机构	203
8.1	概述	203
8.2	数控机床的主传动系统	205
8.2.1	主传动系统的特点及要求	205
8.2.2	主轴的调速	206
8.2.3	数控机床的主轴部件	209
8.3	数控机床的进给传动系统	213
8.3.1	数控机床进给传动系统的特点和要求	213
8.3.2	滚珠丝杠螺母副	215
8.3.3	其他传动机构	220
8.3.4	进给传动常用的消隙结构	221
8.3.5	直线电动机进给系统	225
8.3.6	数控机床的导轨	227
8.4	自动换刀装置	232
8.4.1	数控车床的回转刀架	232
8.4.2	加工中心的自动换刀装置	233
8.5	数控机床的主要辅助装置	238
8.5.1	分度工作台	239
8.5.2	数控回转工作台	240

第 9 章 应用 Pro/ENGINEER 软件进行数控加工编程	243
9.1 Pro/ENGINEER 软件应用概述	243
9.2 Pro/NC 编程数控基础	244
9.2.1 Pro/NC 加工过程	245
9.2.2 Pro/E NC 菜单管理器	245
9.3 Pro/E 软件编程数控应用	247
9.3.1 减速器下箱体零件建模	247
9.3.2 制造模型	248
9.3.3 上表面加工过程	249
9.4 通用 NC 序列参数	260
9.4.1 名称	261
9.4.2 切削参数	261
9.4.3 机床	262
9.4.4 进刀/退刀	263
附 录	265



第1章 绪论

【本章知识点】

1. 数控技术的基本概念。
2. 数控系统的组成和分类。
3. 数控机床的特点和应用范围。
4. 数控机床的性能指标。
5. 数控技术的发展。

本章主要讲述了数控技术的产生及其基本概念，并介绍了数控系统的组成与分类，数控技术的特点与应用范围，同时介绍了数控技术的性能指标与其发展现状、发展趋势。

1.1 数控技术的产生与基本概念

随着科学技术和社会生产力的迅速发展，数控技术应运而生。数字控制技术，简称数控技术，是近代发展起来的一种自动控制技术。数控技术是一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产技术。

1.1.1 数控技术的产生

20世纪40年代以来，随着科学技术和社会生产力的迅速发展，人们对各种产品的质量 and 生产效率提出了越来越高的要求。机械加工过程的自动化成为实现上述要求的最重要措施之一。飞机、汽车、农机、家电等生产企业多数都采用了自动机床、组合机床和自动生产线，从而保证了产品质量，极大地提高了生产效率，降低了生产成本，加强了企业在市场上的竞争力，还能够极大地改善工人的劳动条件，减轻劳动强度。然而，成年累月地进行单一产品零件生产的高效率和高度自动化的刚性机床及专用机床生产方式，均需要巨大的初期投资和很长的生产准备周期，因此，这种方式仅适用于批量较大的零件生产。

在产品加工中，大批量生产的零件并不很多，据统计，单件与中、小批量生产的零件约占机械加工总量的80%以上。尤其是在航空、航天、船舶、机床、重型机械、食品加工机械、包装机械和军工产品等行业中，不仅加工批量小，而且加工零件形状比较复杂，精度要求也很高，除此之外，还需要经常改型。如果仍采用专用化程度很高的自动化机床生产加工这类产品的零件，就会显得很不合理。经常改装和调整设备，对于这种专用的生产线来说，不仅仅会极大地提高产品的成本，甚至是不可能实现的。随着市场经济体制的日趋成熟，绝

大多数的产品都已从卖方市场转向买方市场，产品的竞争十分激烈。为在竞争中求得生存与发展，迫使着生产企业不断更新产品，提高产品技术档次，增加产品种类，缩短试制与生产周期以提高产品的性价比，满足用户的需要。由于这种以大批量生产为主的生产方式使产品的改型和更新变得十分困难，用户即使得到了价格相对低廉的产品也是以牺牲产品的某些性能为代价换取的。因此，企业为了保持产品的市场份额，即便是以大批量生产为主的企业，也必须改变产品长期一成不变的传统做法。这样，传统“刚性”的自动化生产方式和生产线已变得难以适应小批量、多品种生产要求。

在过去的生产中，已有的各类仿形加工设备部分地解决了小批量、复杂零件的加工。但在更换零件时，必须重新制造靠模并调整设备，这种生产方式不但要耗费大量的手工劳动，延长生产准备周期，而且由于靠模加工误差的影响，零件的加工精度很难达到较高的要求。

为了解决上述这些问题，一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产技术——数控技术应运而生。

1948年美国帕森斯公司（Parsons Corporation）受美国军方的委托研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时，与麻省理工学院（MIT）伺服机构研究所进行合作，首先提出了用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新理念，于1952年成功研制出了世界上第一台由专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。研制过程中采用了自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等方面的技术成果。后来又经过改进，于1955年实现了产业化，并批量投放市场。但由于技术和价格的原因，仅局限在航空工业中应用。数控机床的诞生，对复杂曲线、型面的加工起到了非常重要的作用，同时也推动了美国航空工业和军事工业的发展。

尽管这种初期数控机床采用电子管和分立元件硬接线电路进行运算和控制，体积庞大且功能单一，但它采用了先进的数字控制技术，具有普通设备和各种自动化设备无法比拟的优点，具有强大的生命力，它的出现开辟了工业生产技术的新纪元。从此，数控技术在全世界得到了迅速发展。

进入20世纪90年代以来，随着国际上计算机技术突飞猛进的发展，数控技术不断采用计算机、控制理论等领域的最新技术成就，使其朝着运行高速化、加工高精度、功能复合化、控制智能化、体系开放化和交互网络化方向发展。在最近30年，计算机数控性能和功能不断发展，计算机数控机床向综合自动化方向发展。

1.1.2 数控技术的基本概念

数控技术，简称数控（Numerical Control，NC），是近代发展起来的一种自动控制技术。它是综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。随着电子信息技术与机械产业的共同发展与不断的结合，现代数控开始逐步采用计算机进行控制，因此，也可以称为计算机数控（Computer Numerical Control，CNC）。

数控技术是在机械制造技术、信息处理技术、加工技术、传输技术、自动控制技术、伺服驱动技术、传感器技术和软件技术等基础上综合应用的成果，具有动作顺序自动控制，位移和相对位置坐标自动控制，速度、转速及各种辅助功能自动控制等功能。由于数控系统、

数控装置的英文缩写亦采用 NC（或 CNC），因此，在实际使用中，在不同场合 NC（或 CNC）具有三种不同含义：既可以在广义上代表一种控制技术，又可以在狭义上代表一种控制系统的实体，还可以代表一种具体的控制装置——数控装置。

采用数控技术进行控制的机床，称为数控机床（NC 机床）。它是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品，是现代制造技术的基础。

1.2 数控系统的组成与分类

数控系统一般由输入输出设备、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床本体等部分组成。数控系统一般按数控装置类型分类、按运动方式分类、按控制方式及用途分类。

1.2.1 数控系统的组成

数控机床一般由程序载体、输入装置、数控装置、伺服驱动系统、强电控制装置、测量反馈装置、执行部件（主运动机构、进给运动机构、辅助动作机构）组成。图 1-1 为数控机床组成的框图。

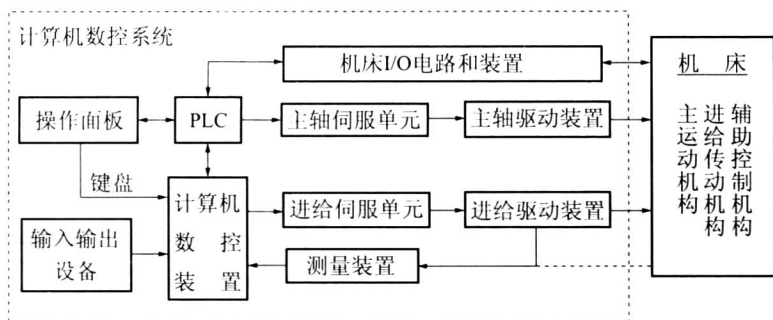


图 1-1 数控机床组成的框图

1. 程序载体

程序载体是对数控机床进行控制，建立人与数控机床某种联系的媒介物。在程序载体上存储加工零件所需要的全部几何信息和工艺信息，它可以是穿孔纸带、磁盘等。采用哪一种存储载体，取决于数控装置的设计类型。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号，传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、软盘驱动器等。有些数控机床，不用任何程序存储载体，而是将数控程序单的内容通过数控装置上的键盘，用手工方式（MDI 方式）输入，或者将数控程序由编程计算机用通信方式传送到数控装置。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，它接收输入装置送来的脉冲信号，经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令以控制机床的各个部分，进行

规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是由插补运算决定的各坐标轴（即作进给运动的各执行部件）的进给速度、方向和位移的指令，经伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动。其他还有主运动部件的变速、换向和起停信号，选择和交换刀具的指令信号，控制冷却、润滑的起停，工件和机床部件松开、夹紧，分度工作台转位等辅助指令信号等。

4. 伺服驱动系统

伺服系统主要由4部分组成：控制器、功率驱动装置、反馈装置和电动机。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。每个作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，还得使用位置检测装置，间接或直接测量执行部件的实际进给位移，以与指令位移进行比较，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。伺服系统是机床工作的动力装置，CNC装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施，所以伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说，数控机床功能的强弱主要取决于CNC装置，而数控机床性能的高低主要取决于伺服驱动系统。

5. 强电控制装置

强电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，其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号，经必要的编译、逻辑判断、功率放大后，直接驱动相应的电气、液压、气动和机械部件，以完成指令所规定的动作。此外，还有行程开关和监控检测等开关信号也要经过强电控制装置送到数控装置进行处理。

6. 测量反馈装置

该装置由测量部件和响应的测量电路组成，其作用是对实际位移、速度及当前的环境（如温度、振动、摩擦和切削力等因素的变化）参数加以检测，转变为电信号后反馈给数控装置，通过比较，得出实际运动与指令运动的误差，并发出误差指令，纠正所产生的误差。测量反馈装置的引入，有效地改善了系统的动态特性，大大提高了零件的加工精度。

7. 执行部件

数控系统的执行部件是加工运动的实际执行部件，主要包括主运动部件、进给运动执行部件、工作台、拖板及其部件和床身立柱等支承部件，此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置，存放刀具的刀架、刀库及交换刀具的自动换刀机构等。执行部件应有足够的刚度和抗振性，还要有足够的精度，传动系统结构要简单，便于实现自动控制。

1.2.2 数控系统工作原理

数控机床加工零件的过程是通过预先编辑好的程序进行加工制造的。

首先需要分析零件的图样，根据图样中对材料和尺寸、形状、加工精度及热处理等的要求来确定工艺方案，进行工艺处理和数值计算。在此基础上，根据数控系统规定的功能指令代码和程序段格式编写数控加工程序单。

根据加工程序单的内容，用自动穿孔机制作控制介质（穿孔纸带）。通过光电阅读机将穿孔带的代码逐段读入到数控装置，也可以用键盘输入方式将加工程序单内容直接输入数控装置。

数控装置将输入指令进行译码、寄存和运算后，向系统各个坐标的伺服系统发出指令信号，经驱动电路的放大处理，驱动伺服电动机输出角位移和角速度，并通过执行部件的传动系统转换为工作台的直线位移，实现进给运动。

1.2.3 数控系统的分类

1. 按数控装置类型分类

数控系统按数控装置类型分类，可分为硬件式数控系统和软件式数控系统。

1) 硬件式数控系统

硬件式数控系统（NC 系统）是早期的数控系统。在这种系统的数控装置中，输入、译码、插补运算、输出等控制功能均由分立式元器件硬接线连接的逻辑电路来实现。一般来说，不同的数控设备需要设计不同的硬件逻辑电路。这类数控系统的通用性、灵活性等性能较差，维护代价高。

2) 软件式数控系统

20 世纪 70 年代中期，随着微电子技术的发展，芯片的集成度越来越高，利用大规模及超大规模集成电路组成软件式数控系统（CNC 系统）成为可能。在此装置中，常采用小型计算机或微型计算机作为控制单元，其中主要功能几乎全部由软件来实现，对于不同的系统，只需编制不同的软件就可以实现不同的控制功能，而硬件几乎可以通用。这就为硬件的大批量生产提供了条件。数控系统硬件的批量生产有利于保证质量、降低成本、缩短周期、迅速推广和扩展应用，所以现代数控系统都无例外地采用 CNC 装置。

2. 按运动方式分类

数控系统按运动方式分类，可分为点位控制系统、点位直线控制系统、轮廓控制系统。

1) 点位控制系统

点位控制系统是指数控系统只控制刀具或机床工作台，从一点准确地移动到另一点，而点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的系统。为了减少移动部件的运动与定位时间，一般先以快速移动到终点附近位置，然后以低速准确移动到终点定位位置，以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削，如图 1-2 所示。使用这类控制系统的主要有数控镗床、数控钻床、数控冲床等。图 1-3 是点位控制钻孔加工示意图。

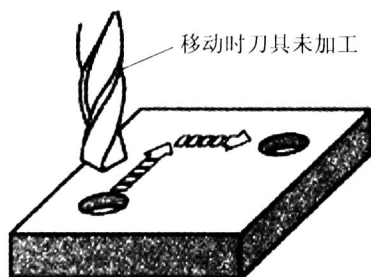


图 1-2 点位控制示意图

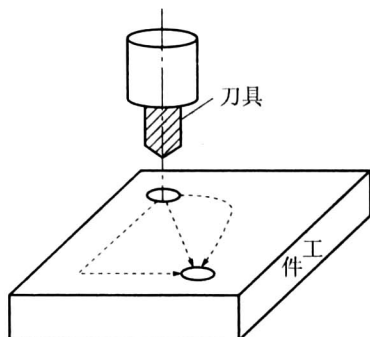


图 1-3 点位控制钻孔加工示意图

2) 点位直线控制系统

点位直线控制系统是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一个点准确地移动到下一个