



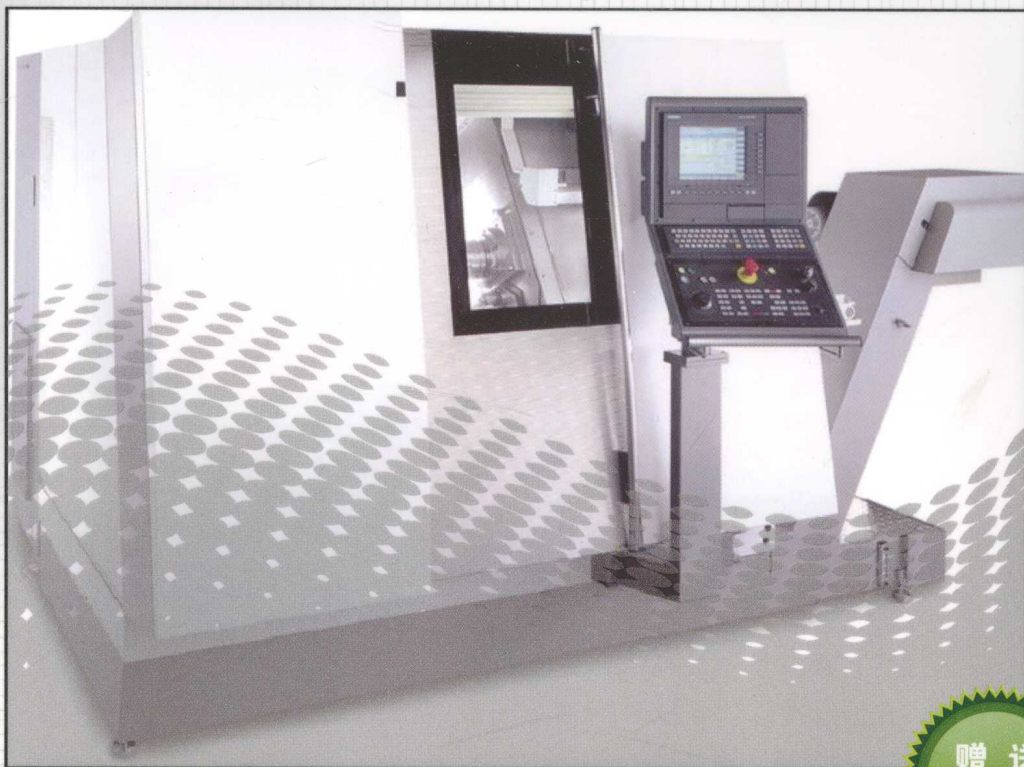
高职高专数控技术应用专业规划教材

数控技术

SHUKONG JISHU

段晓旭 关崎炜

汤振宁 主编
李秋芳 副主编
荣瑞芳 主审



赠送
电子课件

本书特色

- ❁ 结构严谨，内容丰富，实用性强。
- ❁ 项目案例源于生产实际，具有示范性，有利于培养学生的职业能力。
- ❁ 理论知识阐述条理清晰，详略得当，易于掌握。



清华大学出版社

高职高专数控技术应用专业规划教材

数 控 技 术

汤振宁 主 编
段晓旭 关崎炜 李秋芳 副主编
荣瑞芳 主 审

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书将原理阐述与应用介绍相结合,深入浅出地对数控技术所包含的主要内容和主要应用作了比较全面的分析和叙述。本书共分 8 章,主要内容包括数控技术概述、数控加工工艺、数控加工程序编制、数控机床的工作原理、计算机数控装置、数控机床的伺服系统、数控机床的机械系统、数控机床的检测装置。全书各章既有联系性,又有一定的独立性。

本书既可以作为大学、高职和职业中专机械类专业及相关专业教材,也可以作为从事机械工程的技术人员的参考用书。

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

数控技术/汤振宁主编;段晓旭,关崎炜,李秋芳副主编;荣瑞芳主审.——北京:清华大学出版社,2010.10
(高职高专数控技术应用专业规划教材)

ISBN 978-7-302-23330-5

I. ①数… II. ①汤… ②段… ③关… ④李… ⑤荣… III. ①数控机床—高等学校:技术学校—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 145943 号

责任编辑:孙兴芳 桑任松

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:李红英

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 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17.25 字 数:417 千字

版 次:2010 年 10 月第 1 版 印 次:2010 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

产品编号:032583-01

前 言

自 1952 年第一台数控机床问世以来,随着加工制造业的快速发展,数控技术已经成为现代先进制造系统不可缺少的基础技术。数控技术在国民经济发展和国防安全等方面起着重要作用,因此发达国家对发展中国家一直以来在高端数控技术方面实施封锁,20 世纪 80 年代,当时的苏联政府借道挪威向日本东芝公司购买九轴数控加工设备而遭制裁的“东芝事件”成为了全球发展中国家数控技术发展的发令枪。我国数控技术的发展十分迅速,现在已经能够生产高端多轴数控设备。以 2008 年武汉华中数控因出口这种设备而遭美国制裁为标志,我国的数控技术已经得到世界的认可。

为适应数控技术发展的需要,清华大学出版社组织编写了本教材。本教材遵循“工作过程导向”的思路,参考了大量的国内外资料,结合多年的教学实践经验,力求取材新颖,且能反映数控技术和数控机床系统的基本知识、核心技术与最新成就,并兼顾理论与实际的联系,减少复杂的数学推导,系统、全面地介绍数控系统。

本书共分 8 章,各章包括项目任务分析、基础知识、任务实施过程、检查与评估、本章小结、思考与练习等模块。各章的主题及基础知识部分的内容简要说明如下。

第 1 章为数控技术概述,其基础知识部分包括数控技术的基本概念、数控机床的产生和数控加工的特点,数控机床的组成、分类和工作过程,数控机床的发展历史和趋势。

第 2 章介绍数控加工工艺,其基础知识部分包括数控加工工艺概述、数控车削加工工艺、数控铣床(加工中心)加工工艺。

第 3 章介绍数控加工程序编制,其基础知识部分包括数控编程过程及方法、数控编程的数学处理、数控程序编制基础、数控车床编程基础、数控铣床编程基础、自动编程。

第 4 章介绍数控机床的工作原理,其基础知识部分包括概述、逐点比较直线插补法、逐点比较法圆弧插补法、数字积分插补法、数据采集插补法、进给速度的控制。

第 5 章介绍计算机数控装置,其基础知识部分包括概述、CNC 装置的硬件结构、CNC 软件结构、数控系统中的可编程控制器。

第 6 章介绍数控机床的伺服系统,其基础知识部分包括概述、步进电动机伺服系统、直流电机伺服系统、交流电机伺服系统。

第 7 章介绍数控机床的机械系统,其基础知识部分包括数控设备的机械系统结构要求及特点、数控机床的主运动部件、数控机床的进给运动系统、导轨副、支承件。

第 8 章介绍数控机床的检测装置,其基础知识部分包括概述、直线位移检测装置、角位移检测装置、速度及加速度检测装置、其他常用检测装置。

本书由汤振宁担任主编并统稿,段晓旭、关崎炜、李秋芳担任副主编,荣瑞芳主审。各章的编写人员为第 1 章由江苏省宿迁市宿迁学院唐友亮编写,第 2 章和第 3 章由沈阳职业技术学院汤振宁编写,第 4 章由北京经济管理职业学院李秋芳和姜洪有编写,第 5 章由



沈阳职业技术学院段晓旭编写，第 6 章由沈阳航空职业技术学院王忠华编写，第 7 章由沈阳职业技术学院关崎炜编写，第 8 章由沈阳黎明航发集团公司郭娜编写。

本书在编写过程中，得到沈阳职业技术学院的工业实训中心主任王雷教授等老师的关心、支持和帮助，在此特向他们表示感谢！

由于编者的水平有限，书中难免存在一些错误，恳请读者批评指正。

编 者



目 录

第 1 章 数控技术概述	1
1.1 项目任务分析	1
1.2 基础知识	2
1.2.1 数控技术的基本概念、数控机床的产生和数控加工的特点	2
1.2.2 数控机床的组成、分类和工作过程	4
1.2.3 数控机床的发展历史和趋势	11
1.3 任务实施过程	14
1.3.1 工作计划	14
1.3.2 任务实施	15
1.4 检查与评估	15
1.4.1 检查内容	15
1.4.2 评估策略	15
本章小结	16
思考与练习	17

第 2 章 数控加工工艺	18
2.1 项目任务分析	19
2.2 基础知识	19
2.2.1 数控加工工艺概述	19
2.2.2 数控车削加工工艺	21
2.2.3 数控铣床(加工中心)加工工艺	24
2.3 任务实施过程	34
2.3.1 工作计划	34
2.3.2 零件图工艺分析	35
2.3.3 操作步骤	36
2.4 检查与评估	37
2.4.1 检查方法	37
2.4.2 评估策略	38
2.5 拓展实训	39
2.5.1 数控车削加工工艺设计	39
2.5.2 数控铣削加工工艺设计	41
2.6 数控工艺设计常见问题分析方法	45

本章小结	46
思考与练习	46
第 3 章 数控加工程序编制	48
3.1 项目任务分析	49
3.2 基础知识	49
3.2.1 数控编程过程及方法	49
3.2.2 数控编程的数学处理	52
3.2.3 数控程序编制基础	54
3.2.4 数控车床编程基础	60
3.2.5 数控铣床编程基础	76
3.2.6 自动编程	86
3.3 任务实施过程	94
3.3.1 工作计划	94
3.3.2 参考程序	95
3.4 检查与评估	98
3.4.1 检查方法	98
3.4.2 评估策略	98
3.5 拓展实训	99
3.5.1 数控车削加工手工编程	99
3.5.2 数控铣削加工手工编程	101
3.6 数控编程中常见错误解析	102
本章小结	104
思考与练习	104

第 4 章 数控机床的工作原理	107
4.1 项目任务分析	107
4.2 基础知识	108
4.2.1 概述	108
4.2.2 逐点比较直线插补法	109
4.2.3 逐点比较法圆弧插补法	114
4.2.4 数字积分插补法	121
4.2.5 数据采样插补法	124
4.2.6 进给速度的控制	129
4.3 任务实施过程	135



4.3.1 工作计划.....	135	6.4.2 评估策略.....	208
4.3.2 插补计算过程.....	136	本章小结.....	209
4.4 检查与评估.....	137	思考与练习.....	209
4.4.1 检查项目.....	137	第7章 数控机床的机械系统.....	211
4.4.2 评估策略.....	137	7.1 项目任务分析.....	212
4.5 拓展实训.....	138	7.2 基础知识.....	212
4.5.1 逐点比较圆弧插补计算.....	138	7.2.1 数控机床的机械系统结构	
4.5.2 数字积分插补计算.....	139	要求及特点.....	212
本章小结.....	140	7.2.2 数控机床的主运动部件.....	213
思考与练习.....	140	7.2.3 数控机床的进给运动系统.....	219
第5章 计算机数控装置.....	142	7.2.4 导轨副.....	229
5.1 项目任务分析.....	143	7.2.5 支承件.....	232
5.2 基础知识.....	143	7.3 任务实施过程.....	236
5.2.1 概述.....	143	7.3.1 工作计划.....	236
5.2.2 CNC装置的硬件结构.....	147	7.3.2 操作步骤.....	237
5.2.3 CNC软件结构.....	154	7.4 检查与评估.....	238
5.2.4 数控系统中的可编程		7.4.1 检查方法.....	238
控制器.....	160	7.4.2 评估策略.....	238
5.3 任务实施过程.....	165	本章小结.....	239
5.3.1 工作计划.....	165	思考与练习.....	240
5.3.2 工作步骤.....	166	第8章 数控机床的检测装置.....	241
5.4 检查与评估.....	169	8.1 项目任务分析.....	242
5.4.1 检查方法.....	169	8.2 基础知识.....	242
5.4.2 评估策略.....	169	8.2.1 概述.....	242
5.5 数控系统常见问题处理方法.....	170	8.2.2 直线位移检测装置.....	246
本章小结.....	173	8.2.3 角位移检测装置.....	253
思考与练习.....	173	8.2.4 速度、加速度检测装置.....	257
第6章 数控机床的伺服系统.....	174	8.2.5 其他常用检测装置.....	261
6.1 项目任务分析.....	174	8.3 任务实施过程.....	264
6.2 基础知识.....	175	8.3.1 工作计划.....	264
6.2.1 概述.....	175	8.3.2 分析结果.....	265
6.2.2 步进电动机伺服系统.....	182	8.4 检查与评估.....	266
6.2.3 直流电机伺服系统.....	195	8.4.1 检查方法.....	266
6.2.4 交流电机伺服系统.....	202	8.4.2 评估策略.....	266
6.3 任务实施过程.....	206	本章小结.....	267
6.3.1 工作计划.....	206	思考与练习.....	267
6.3.2 操作步骤.....	207	参考文献.....	268
6.4 项目的检查与评估.....	208		
6.4.1 检查方法.....	208		

第1章 数控技术概述

学习要点

数字技术(Numerical Control, NC)是一种借助于数字化信息(数字、字符或其他符号)对某一工作过程(如加工、测量、装配等)进行编程控制的自动化技术。数控技术广泛应用于国民经济生产的各个行业,其中数控机床是数控技术在生产中应用最为典型的例子。因此本课程主要以数控技术在数控机床中的应用为例进行讲解。

与普通机床相比,数控机床具有适应性强、效率高、精度高、精度保持性好、经济效益好以及易于实现生产管理的现代化等优点,代表了现代机床技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。

本章通过基础知识的学习,将获得以下知识。

- (1) 掌握与数控技术有关的基本概念和数控加工的特点。
- (2) 掌握数控机床的组成、工作原理、分类及工作过程。
- (3) 了解数控机床的发展历史及其发展趋势。

技能目标

- (1) 掌握数控机床的工作过程。
- (2) 能够识别不同类型的数控机床。

项目案例导入

数控机床特点分析

随着生产和科学技术的飞速发展,社会对机械产品多样化的要求日益强烈,产品更新越来越快,多品种、中小批量生产的比例明显增加,同时随着机械产品的结构日趋复杂,其精度日趋提高,性能不断改善,激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化、高效和高质量复杂零件的加工要求。数控机床凭着许多普通机床所无法比拟的优点应时而生,那么这些优点具体是什么?数控机床又为什么具有这些优点呢?下面通过本章的项目来一步步地揭开其中的奥秘。

1.1 项目任务分析

数控机床具有适应性强、效率高、精度高、精度保持性好等特点,这些优点的拥有和数控机床自身的工作原理与结构是分不开的。本章将通过以下内容的安排与学习引领大家一步步地了解数控机床的特点并分析其原因,具体安排如下。

- (1) 学习并理解相关的基础知识。



- (2) 依据数控机床的特点,组织小组讨论数控机床与普通机床的相同点与不同点。
- (3) 为了提高工作效率,制订工作计划。
- (4) 描述数控机床特点产生的原因。
- (5) 对描述的内容进行检查与评估。

1.2 基础知识

在分析数控机床的特点之前,首先来了解一些有关数控技术和数控机床的基础知识。

1.2.1 数控技术的基本概念、数控机床的产生和数控加工的特点

1. 数控技术的基本概念

数字控制(Numerical Control, NC)是一种借助于数字化信息(数字、字符或其他符号)对某一工作过程(如加工、测量、装配等)进行编程控制的自动化方法。通常使用专门的计算机(或单片机),机器设备按照使用者(或生产厂家)预先编写的程序进行工作。数字控制简称数控。

数控技术(Numerical Control Technology)是采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。

数控系统(Numerical Control System)是实现数字控制的装置,它是数字控制技术的物理实体体现,由硬件和软件两部分组成。

数控机床(Numerical Control Machine)是采用数字控制技术对工件的加工过程进行自动控制的一类机床。它是数控技术在生产中应用最为典型的例子。利用数控机床加工时,首先将机械加工过程中的各种控制信息(刀具、切削用量、主轴转速、加工轨迹等)用相应的代码数字化,然后通过数字化的信息输入数控装置(数控系统的核心部分),经运算处理后再由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。

2. 数控机床的产生

随着社会生产和科学技术的不断进步,社会对机械产品多样化的要求日益强烈,产品更新越来越快,且产品结构日趋复杂,精度日趋提高,特别是在宇航、航海、军事等领域所需的机械零件,精度要求更高,形状更为复杂且往往批量较小,对于这类产品的加工,普通机床或专业化程度高的自动化机床有时无法适应。

1947年,美国帕森斯公司(Parsons)接受美国空军的委托,开始研制直升机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于轮廓检验样板的形状复杂,精度要求高,一般加工设备难以适应,因此首次提出采用数字脉冲控制机床的设想。1949年,该公司与美国麻省理工学院伺服机构实验室(Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology)开始共同研究,探讨用三坐标曲线数据控制机床运动,并于1952年试制成功了世界上第一台三坐标数控铣床。成功地实现了三轴联动,并可以控制铣刀对空间曲面进行连续加工。该数控铣床综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机



械结构等多方面的技术成果,是一种新型的机床,可用于加工复杂曲面零件,是机械制造行业的一次技术革命,从此机床进入了数控时代。

3. 数控加工的特点

数控机床的出现,较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题。与普通机床的加工相比,数控加工具有以下明显特点。

1) 适应性强

适应性,又称柔性,是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制程序,输入新的程序后就能实现对新零件的加工,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,且生产过程是自动完成的,生产周期短。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。在机械产品中,单件与小批量产品占到70%~80%。这类产品的生产不仅对机床提出了高效率、高精度和高自动化要求,而且还要求机床应具有较强的适应产品变化的能力。适应性强是数控机床最突出的优点,也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。在数控机床的基础上,可以组成具有更高柔性的自动化制造系统——FMS。

2) 适于加工形状复杂的零件

对于形状复杂的工件,如直升机的螺旋桨、汽轮机叶片等,轮廓为形状复杂的空间曲面,其加工在普通机床上难以实现或无法实现,而数控机床几乎可以实现任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面,可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件的加工,因此在宇航、造船、模具等加工工业得到广泛应用。

3) 加工精度高、质量稳定可靠

数控机床加工的精度高,这与数控机床机械机构部分的制造精度和各种补偿措施有着很大的关系。在设计与制造数控机床时,采取了很多措施以使数控机床的机械部件达到很高的精度和刚度,使数控机床工作台的脉冲当量普遍达到 $0.0001\sim 0.01\text{mm}$,而丝杠螺距误差与进给传动链的反向间隙等均可由数控装置进行补偿,对于高档数控机床则可采用光栅尺进行工作台移动的闭环控制,这些技术的应用使数控机床可获得比本身精度更高的加工精度。另一方面,数控机床是在程序指令控制下进行加工的,一般情况下不需要人工干预,因此消除了操作者人为产生的加工误差,提高了同一批零件生产的一致性,产品合格率高,加工质量稳定可靠。

4) 生产效率高

生产效率是衡量设备机械加工性能的主要性能参数之一。零件的加工效率主要取决于切削加工时间和辅助加工时间。一般来讲,影响数控机床的生产效率的因素主要有以下几个方面。

(1) 切削用量的选择。

数控机床主传动系统一般采用无级变速方式,其转速变化范围比普通机床大;其次,其进给量选取范围也比较大,并且均可以在其变化范围内任意选择。因此,数控机床每一道工序都可选用最合理的切削速度和进给速度。此外,由于数控机床结构的刚性好,因此可以选取较大的切削深度(背吃刀量)进行强力切削,从而提高了数控机床的切削效率。



(2) 空行程运动速度。

数控机床加工过程中, 移动部件的空行程速度一般采用机床最大快移速度, 其速度一般在 15m/min 以上, 在高速加工数控机床上快进速度甚至可以达到 200m/min 左右, 因此其空行程运动速度远远大于普通机床的运动速度, 从而可以获得较高的加工效率。

(3) 工件装夹及换刀时间。

在数控机床上加工, 当更换被加工零件时, 几乎不需要重新调整机床, 节省了零件安装调整时间, 工件装夹时间短, 且刀具可自动更换, 自动换刀最快可以在 0.9s 内完成, 辅助时间比一般机床大为减少。

(4) 检验时间。

数控机床的加工质量稳定, 当批量加工零件时, 一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验, 因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上加工时, 一台机床可以实现多道工序的连续加工, 生产效率的提高更为显著。

由上述内容可以看出, 数控机床的生产率很高, 一般为普通机床的 3~5 倍, 对某些复杂零件的加工, 生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。

5) 劳动强度低

数控机床的自动化程度高, 其加工的全部过程都是在数控系统的控制下完成的, 不像传统加工时那样繁琐, 操作者在数控机床上工作时, 只需要监视设备的运行状态, 所以大大降低了劳动强度, 改善了劳动条件。

6) 良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵, 加工时分摊到每个零件上的设备折旧费较高。但在单件、小批量生产的情况下, 使用数控机床加工可以节省划线工时, 减少调整、加工和检验时间, 节省直接生产费用。用数控机床加工零件一般不需制作专用夹具, 节省了工艺装备费用。数控机床的加工精度稳定, 减少了废品率, 使生产成本进一步下降。此外, 数控机床可实现一机多用, 节省了厂房面积和建厂投资。因此, 使用数控机床可以获得良好的经济效益。

7) 有利于生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息, 特别是在数控机床上使用计算机控制, 易于与计算机辅助设计系统连接, 形成 CAD/CAM 一体化系统, 有利于生产管理的现代化。

提示: 从上述内容可以看出, 数控机床具有很多优点, 这些优点是普通机床所不具备的, 那么数控机床为什么会具有这么多优点呢? 这就要从数控机床的组成和工作过程谈起。

1.2.2 数控机床的组成、分类和工作过程

数控机床的诸多优点, 源于其具体的组成结构。那么数控机床是由哪些部分组成的呢? 数控机床可以分为哪些类型呢? 工作过程又如何呢? 这些问题在学习完本小节之后就会得到答案。

1. 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出装置、数控装置、辅助控制装置、伺服驱动装置、测量反馈装置和机床本体等部分组成,如图 1.1 所示。

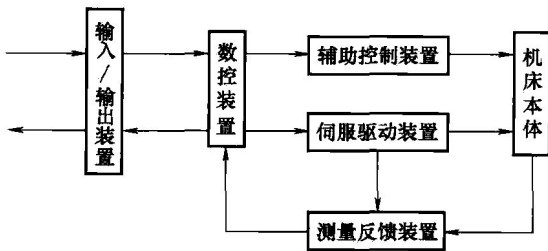


图 1.1 数控机床的组成

1) 输入/输出装置

输入/输出装置的作用是实现零件程序和控制数据的输入、显示、存储、打印等。输入是指将程序及加工信息传递给计算机。在数控机床产生的初期,输入装置为穿孔纸带,现已趋于淘汰,目前广泛使用的输入装置有键盘、磁盘、移动 U 盘等。输出是指输出内部工作参数(如机床正常、理想工作状态下的原始参数、故障诊断参数等)。常见的输出装置有显示器、打印机等。

2) 数控装置

数控装置是数控系统的核心,数控机床的各项控制任务均由数控装置完成。数控装置的作用是接收输入信息,对输入信息进行译码、数值运算、逻辑处理,并将处理结果传送到辅助控制装置和伺服驱动装置控制机床各运动部件的运动。数控装置一般由专用计算机或通用计算机、输入/输出接口、可编程控制器(PLC)和相应的系统软件组成。

3) 伺服驱动装置

伺服驱动装置包括伺服驱动电路和伺服电机,其作用是接收数控装置发出的位移、速度指令,经过调解、转换、放大后,驱动伺服电机(直流、交流伺服电机及功率步进电机等)带动机床执行部件运动。数控机床的伺服驱动系统与一般机床的伺服驱动系统有本质上的差别,它根据指令信号精确地控制执行部件的运动速度与位置,以及几个执行部件按一定规律运动所合成的运动轨迹。

4) 辅助控制装置

辅助控制装置主要由 PLC 和强电控制回路构成。辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量信号,经过必要的编译、逻辑判别运算,再经功率放大后驱动相应的执行元件,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。辅助控制的内容主要包括主轴的变速、换向和启停;刀具的选择和交换;工件和机床部件的松开、夹紧;冷却、润滑装置的启动与停止;分度工作台转位分度;检测开关状态等开关辅助动作。

5) 测量反馈装置

测量反馈装置由测量部件(传感器)和测量电路组成。测量反馈装置的作用是检测机床移动部件的位移和速度,并反馈至数控装置和伺服驱动装置,数控装置将反馈回来的实际位



移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按照指令设定值运动,从而构成(半)闭环控制系统。

6) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,与传统机床相似,包括机床的主运动部件(主轴)、进给运动部件(工作台、拖板)、基础部件(底座、立柱、滑鞍、导轨)、润滑系统、冷却装置、换刀装置、排屑装置、防护装置等。但为了满足数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点,数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。

提示:数控机床与普通机床在结构上的最大区别在于数控机床具有数控系统。数控系统相当于人的大脑,机床进行的所有加工工作都是在其控制下完成的,因此数控系统是整个数控机床的核心部件,它的性能的优劣直接决定了数控机床性能的好坏。

2. 数控机床的分类

数控机床的规格、品种繁多,其分类方法也较多,一般可根据其工艺方法、运动方式、控制原理和功能水平,从不同角度进行分类。

1) 按加工工艺方法分类

(1) 金属切削类数控机床。

① 普通数控机床。普通数控机床是指加工用途、加工工艺相对单一的数控机床。与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应,普通数控机床可以分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是在数字化信息的控制基础上进行的,与传统机床相比,具有较好的精度保持性、较高的生产率和自动化程度。

② 加工中心。加工中心是带有刀库和自动换刀装置的一种高度自动化的多功能数控机床。第一台加工中心是1959年由美国克耐·杜列克公司(Keaney & Trecker)首次成功开发的。它在数控卧式镗、铣床的基础上增加了自动换刀装置,从而实现了工件一次装夹后即可进行铣削、钻削、镗削、铰削和攻螺纹等多种工序的集中加工,可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差,特别适合箱体类零件的加工。加工中心减少了机床的台数和占地面积,缩短了辅助时间,进一步提高了普通数控机床的加工质量、自动化程度和生产效率。

加工中心按其加工工序分为镗铣加工中心、车削加工中心和万能加工中心,按控制轴数可分为三轴、四轴和五轴加工中心。

(2) 金属成形类数控机床。

常见的金属成形类数控机床有数控压力机、数控剪板机、数控折弯机和数控组合冲床等。

(3) 特种加工类数控机床。

除了金属切削加工数控机床和金属成形类数控机床以外,数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床、数控激光加工机床及专用组合数控机床等。



2) 按运动控制方式分类

按运动控制方式，数控机床可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。

(1) 点位控制数控机床。

点位控制数控机床的特点是机床的移动部件只能实现从一个位置点到另一个位置点的精确移动，而在移动、定位的过程中，不进行任何切削运动，且对运动轨迹没有要求。如图 1.2 所示，在数控钻床上加工孔 3 时，只需要精确控制孔 3 的中心位置即可，至于走 a 路径还是 b 路径并没有要求。为了减小机床移动和定位时间，一般是先以快速移动接近定位终点坐标，然后以低速准确移动到达定位终点坐标，这样不仅定位时间短，而且定位精度高。

常见的点位控制数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机和数控弯管机等。

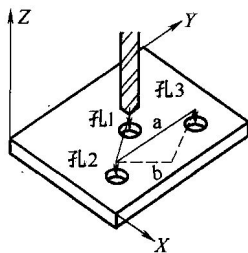


图 1.2 点位控制数控机床

(2) 直线控制数控机床。

直线控制数控机床的特点是机床的移动部件能以适当的进给速度实现平行于坐标轴的直线运动和切削加工运动。进给速度根据切削条件可在一定范围内调节。在该类机床开发之初，简易的两坐标轴数控车床，可用于加工台阶轴；简易的三坐标轴数控铣床，可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统，驱动动力头带着多轴箱轴向进给进行钻镗加工，它也可以算作一种直线控制的数控机床。直线控制数控机床的缺点是只能作单坐标切削运动，因此不能加工复杂轮廓。需要指出的是，现在只具有直线控制功能的数控机床已不多见。

(3) 轮廓控制数控机床。

轮廓控制数控机床又称连续控制数控机床、多坐标联动数控机床，其特点是能够实现同时对两个或两个以上的坐标轴进行协调运动，使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动，在运动过程中进行连续切削加工的功能。由此可见，轮廓控制数控机床不仅能控制机床运动部件的起点与终点坐标位置，而且能控制整个加工过程每一点的速度和位移量，即可以控制其运动轨迹，从而可以加工出轮廓形状比较复杂的零件，如图 1.3 所示。数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等，可实现联动加工是这类数控机床的本质特征，可用于加工曲线和曲面形状零件。现代的数控机床基本上都是这种类型。若根据其联动轴数，轮廓控制数控机床还可细分为两轴联动数控机床、三轴联动数控机床、四轴联动数控机床和五轴联动数控机床。

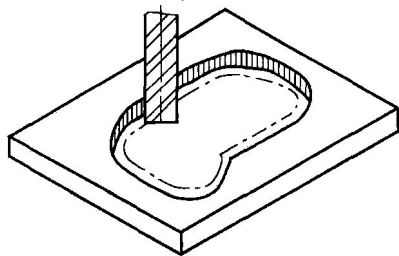


图 1.3 轮廓控制数控机床

提示：目前，大多数数控机床基本上都具有连续轮廓控制功能。具有轮廓控制功能的数控机床，联动轴数需具有两轴以上的联动性能，而且联动轴数越多可以加工的零件复杂性就越高。因此，联动轴数成为衡量数控机床性能的一个很重要的指标。

3) 按控制方式分类

按控制方式不同，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全闭环控制数控机床。

(1) 开环控制数控机床。

开环控制数控机床是指没有位置反馈装置的数控机床，一般以功率步进电机作为伺服驱动元件，其信号流是单向的，如图 1.4 所示。

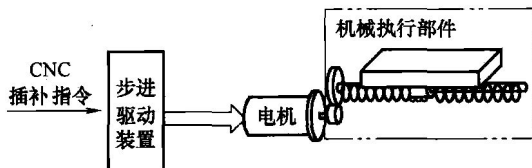


图 1.4 开环控制数控机床

开环控制数控机床的特点如下。

① 开环控制数控机床无位置反馈装置，所以结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉。

② 开环控制数控机床无位置反馈装置，机床加工精度主要取决于伺服驱动电机和机械传动机构的性能和精度，如步进电机步距误差以及齿轮副、丝杠螺母副的传动误差都会影响机床工作台的运动精度，并最终影响零件的加工精度，因此加工精度不高。

③ 开环控制数控机床主要适应于负载较轻且变化不大的场合。

(2) 半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控机床采用半闭环伺服系统，系统的位置采样点是从伺服电机或丝杠的端部引出，通过检测伺服电机或者丝杠的转角，从而间接检测移动部件的位移，并与输入的指令值进行比较，用差值控制运动部件向减小误差的方向运动。图 1.5 所示为半闭环控制数控机床的结构。

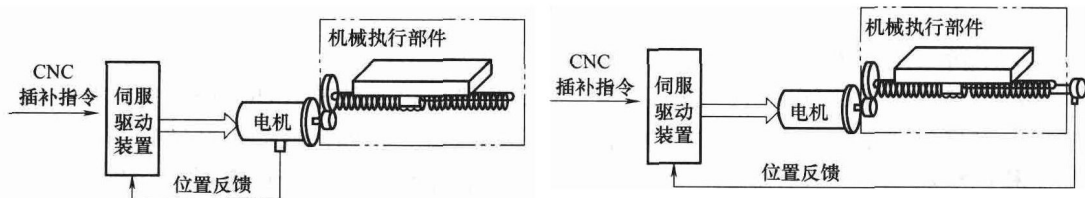


图 1.5 半闭环控制数控机床的结构

半闭环控制数控机床的特点如下。

① 半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，因此可以获得稳定的控制性能，其系统的稳定性较好。

② 半闭环系统能够消除电动机或丝杠的转角误差，因此，其加工精度较开环系统好，但比全闭环系统差。

③ 半闭环系统难以消除由于丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的运动误差，但可以对这类误差进行补偿，因此加工精度进一步提高。

④ 半闭环伺服系统具有设计方便，传动系统简单、结构紧凑、性价比较高且调试方便的特点，因此在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。

(3) 全闭环控制数控机床。

全闭环控制数控机床采用闭环伺服控制，其位置反馈信号的采样点从工作台直接引出，可直接对最终运动部件的实际位置进行检测，利用工作台的实际位置与指令位置差值进行控制，使运动部件严格按实际需要的位移量运动，因此能获得更高的加工精度。图 1.6 所示为全闭环控制数控机床的结构。

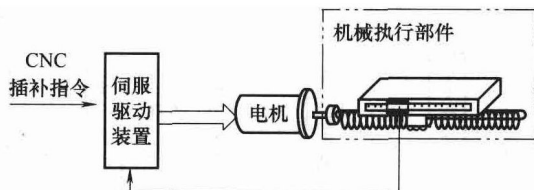


图 1.6 全闭环控制数控机床的结构

全闭环控制数控机床的特点如下。

① 从理论上讲，全闭环控制可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和磨损对加工精度的影响，即机床加工精度只取决于检测装置的精度，而与传动链误差等因素无关。但实际对传动链和机床结构仍有严格要求。

② 由于全闭环控制环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的，很容易造成系统的不稳定，使得全闭环系统的设计、安装和调试都相当困难。因此全闭环系统主要用于精度要求较高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及较大型的数控机床等。

4) 按功能水平分类

按数控系统的功能水平，可以大致把数控机床分为经济(低档)型、中档型和高档型 3 种类型，但这种分类方法目前并无明确的定义和确切的分类界限，而且不同国家的分类标准



不太相同, 不同时期的含义也在不断发生变化。

(1) 经济型数控机床。

经济型数控机床的伺服进给驱动系统一般是步进电机驱动的开环伺服系统, 其功能比较简单、价格比较低廉、精度中等, 能满足轮廓由直线、圆弧构成的形状比较简单的零件的加工和螺纹加工。一般控制的联动轴数在三轴以下, 脉冲当量(分辨率)多为 $10\mu\text{m}$, 快速进给速度在 15m/min 以下, 一般采用 8 位或 16 位处理器, 无 PLC 装置。

(2) 中档型数控机床。

中档型数控机床多采用由交流或直流伺服电机实现的半闭环驱动系统, 能实现四轴或四轴以下联动控制, 脉冲当量为 $1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\sim 24\text{m/min}$, 一般采用 16 位、32 位或 64 位处理器, 具有 RS-232C 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能加工形状复杂的零件的多轴联动数控机床或加工中心。高档型数控机床的特点是功能强、工序集中、自动化程度高、柔性好, 一般采用 32 位以上的微处理器和多 CPU 结构。伺服驱动采用数字化交流伺服电机形成闭环驱动系统, 并开始使用直线伺服电机, 具有主轴伺服功能, 能实现 3~5 轴联动, 脉冲当量(分辨率)多为 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度可达 100m/min 以上。该类数控系统不仅具有宜人的图形用户界面、三维动画功能、加工仿真检验功能、智能监控功能和面向用户的宏程序功能, 还具有很强的智能诊断和智能工艺数据库, 能实现加工条件的自动设定。同时高档型数控系统还具有制造自动化协议等高性能通信接口, 能实现与计算机的联网和通信。

3. 数控机床的工作过程

在数控机床上加工零件时, 一般按照如图 1.7 所示的步骤进行。

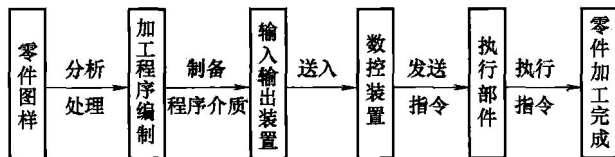


图 1.7 数控机床的工作过程

(1) 首先对零件加工图样进行工艺性分析, 主要包括审查尺寸标注是否正确、合理, 零件轮廓的完整性、结构的合理性, 确定定位基准加工方案、工艺参数, 计算加工轨迹尺寸等。

(2) 选用合适的数控机床, 用规定的程序代码和格式规则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) 将加工程序的内容以代码形式完整地记录在程序介质上。由手工编写的程序, 可以通过数控机床的操作面板输入; 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装置。

(4) 数控装置读入程序, 并对其进行译码、几何数和工艺数据处理、插补计算等操作,