



卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

# 机床数控技术

倪俊芳 宋昌才 何高清 主编



科学出版社

卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

# 机床数控技术

主 编 倪俊芳 宋昌才 何高清

副主编 陈兴强 汪 彬 孙义林

科 学 出 版 社

北 京

版权所有 侵权必究

举报电话：010-64034315；010-64010630（传真）

## 内 容 简 介

本书分9章。第1章介绍数控机床的定义、组成、分类、特点及发展；第2章介绍数控系统硬件软件结构、插补原理、刀具补偿；第3章介绍数控机床结构设计与总体布局；第4章介绍主传动系统概念、设计与主运动部件；第5章介绍直流、交流进给系统；第6章介绍数控检测装置，常用检测元件：旋转变压器、感应同步器、磁尺、光栅和编码盘；第7章介绍进给系统的机械传动结构；第8章介绍刀具与工作交换装置；第9章介绍数控手工编程、数控自动编程知识。

本书以卓越工程师培养计划的要求来编写，注重内容的新颖性、可读性，加强实践的可行性，同时配有实际工程案例分析与练习题。

本书可作普通高等工科院校机械工程学科相关专业数控机床课程的教材，也可作为高等职业技术教育、电大、成教等有关专业的教材和教学参考书，还可作为数控机床编程与操作的培训教材和从事数控机床的技术人员的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/倪俊芳，宋昌才，何高清主编。—北京：科学出版社，2016.1  
卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材  
ISBN 978-7-03-046843-7

I. ①机… II. ①倪… ②宋… ③何… III. ①数控机床—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 001433 号

责任编辑：邓 静 张丽花 / 责任校对：胡小洁  
责任印制：霍 兵 / 封面设计：迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016年1月第一版 开本：787×1092 1/16

2016年1月第一次印刷 印张：20 1/2

字数：486 000

定价：46.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

版权所有，违者必究！未经本社许可，数字图书馆不得使用

# 《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》

## 组织委员会

主任：芮延年 胡华强

委员：（以姓名首字母为序）

陈炜 冯志华 郭兰中 花国然 匡敏 刘春节 刘忠  
秦永法 石怀荣 唐文献 王广勋 王树臣 谢志余 郁汉琪  
曾亿山 张秋菊 朱伟 周海 左晓明

## 编写委员会

顾问：闻邦椿（院士）

主任：芮延年 陈炜 张秋菊

副主任：（以姓名首字母为序）

郭兰中 刘会霞 刘忠 秦永法 唐文献 谢志余 曾亿山  
朱瑞富 左晓明

委员：（以姓名首字母为序）

戴立玲 封士彩 高征兵 龚俊杰 顾锋 顾荣 管图华  
何高清 侯永涛 华同曙 化春键 黄娟 刘道标 刘新  
刘征宇 马伟民 毛卫平 倪俊芳 平雪良 齐文春 钱钧  
盛小明 宋昌才 孙进 唐火红 田玉冬 王德山 王汉成  
王建胜 卫瑞元 吴朝阳 解乃军 薛云娜 杨莉 姚辉学  
袁浩 张洪 张洪丽 张建梅 张兴国 仲高艳 周建华  
朱益民 竺志大

秘书：邓静

# 总 序

“卓越工程师教育培养计划”是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》和《国家中长期人才发展规划纲要（2010-2020年）》的重大改革项目，也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。旨在培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为国家走新型工业化发展道路、建设创新型国家和人才强国战略服务，对促进高等教育面向社会需求培养人才，全面提高工程教育、人才培养质量具有十分重要的示范和引导作用。

科学出版社以教育部“卓越工程师教育培养计划”为准则，以面向工业、面向世界、面向未来，培养造就具有工程创新能力强、适应经济社会发展需要的卓越工程技术人才为培养目标，组织有关专家、学者、教授编写了本套《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》。

本系列教材力求体现的最大特点是，在每本教材的编写过程中，根据授课内容，引入许多相关工程实践案例，这些工程实践案例具有知识性、典型性、启发性、真实性等特点，它可以弥补传统教材森严乏味的局限性，充分调动学生学习的积极性和创造性，引导学生拓宽视野、重视工程实践、培养解决实际问题的能力。通过编者精心收集组织的实际工程案例让学生明白为什么学习、学成能做什么，从而激发学生学习的内在动力和热情，使学生感到学有所用。

本系列教材除了主教材之外，还配套有多媒体课件，以后还将逐步完善建设配套的学习指导书、教师参考书，最终形成立体化教学资源网，方便教师教学，同时有助于学生更好的学习。

我们相信《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的出版，将对我国普通高等教育的发展起到创新探索的推动作用，对机械工程人才的培养以及机械工业的发展产生积极有效的促进作用。

中国科学院院士、东北大学教授 闻邦椿

2014年5月10日

# 前 言

随着计算机技术的突飞猛进,我国机床数控技术得到进一步发展,特别是数控加工中心与开放式数控系统的应用日益广阔。为了满足培养工程技术人才的需求,充分反映我国机床数控技术的发展,更好地为工程实际服务,适应教育部2010年启动的“卓越工程师教育培养计划”,本书采用《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的编写理念和模式,旨在弥补传统教材的局限性,充分调动学生学习的积极性和创造性,激发学生学习的内在动机和热情,使学生感到学有所用,从而提高学生的实践能力和创新能力,培养具有国际竞争力的工程技术人才。

本书的编写理念和模式具有以下特点。

(1) 加强绪论部分的作用,使绪论真正起到提领全书的作用,在绪论中用一张工程实例大图统领全书的知识结构。

(2) 在正文中设置工程案例,辅助学生理解抽象的理论知识。

(3) 在最后一章中,用典型数控机床和数控系统教会学生综合运用本书所学知识 with 数控编程方法,以达到让学生“会运用”的最终目的。

为适应我国现代数控机床高精度、高效率、高柔性的飞速发展,满足教学需要,作者在总结多年教学、科研和生产实践的基础上,吸取同类教材的优点及本学科国内外最新的教学和科研成果,精心组织编写了本书。

本书的内容特点如下。

(1) 以现代机床与数控系统为主线,将机床结构与编程技术结合在一起编写,全书在知识内容的结构安排上着重传授知识和培养能力的结合。

(2) 全书多处采用图片、文字等形式,列举大量工程实际案例,注重工程特色,强调理论与实际紧密结合。

(3) 在讲解数控原理与数控系统的基础上,介绍了各种数控系统的编程方法、数控机床结构、伺服控制、虚拟轴机床等新技术,介绍了机床结构、编程技术、伺服系统的工程应用实例的新结构,介绍了自动编程。

(4) 为使用本书作为教材的任课教师提供本书的课件、练习题参考答案及相关拓展阅读材料,以便于教师授课,同时加强学生对课程的理解,拓展知识面。

本书由苏州大学倪俊芳编写第1章和第9章自动编程,合肥工业大学何高清编写第2章,苏州大学汪彬编写第3章和第5章,苏州大学孙义林编写第4章和第7章,蚌埠学院陈兴强编写第6章和第8章,江苏大学宋昌才、马皓晨、薛青、顾永玉、沈春根编写第9章。苏州大学孙承峰绘制部分图稿。本书由倪俊芳、宋昌才和何高清担任主编,由倪俊芳统稿。

在本书编写过程中,苏州大学机械工程学院博士生导师芮延年教授给予了大力支持并提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

限于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者指正!

作 者

2015年8月

# 目 录

第 1 章 绪论.....	1	第 3 章 数控机床结构设计与总体布局.....	60
1.1 数控机床定义、特点及其组成 ....	1	3.1 数控机床结构设计 .....	60
1.1.1 数控机床的定义 .....	1	3.1.1 数控机床结构设计要求.....	60
1.1.2 数控机床的特点 .....	3	3.1.2 数控机床结构设计的基本	
1.1.3 数控机床的构成 .....	3	原则.....	69
1.2 数控机床分类.....	5	3.2 数控机床的总体布局 .....	71
1.3 数控机床发展 .....	8	3.2.1 总体布局与工件形状、尺寸和	
1.3.1 数控机床国内外发展状况 .....	8	质量的关系.....	71
1.3.2 数控加工中心 .....	8	3.2.2 运动分配与部件的布局.....	72
1.3.3 现代数控加工中心的发展		3.2.3 总体布局与机床结构性能的	
趋势 .....	10	关系.....	75
练习题 .....	11	3.2.4 机床的使用要求与总体布局的	
第 2 章 计算机数字控制系统.....	12	关系.....	76
2.1 概述.....	12	3.2.5 加工中心的总体布局.....	77
2.1.1 CNC 装置组成.....	13	3.2.6 数控车床的总体布局.....	79
2.1.2 CNC 装置的工作过程.....	14	3.2.7 高速加工数控机床的总体	
2.1.3 CNC 装置的功能 .....	15	布局.....	80
2.2 CNC 装置的硬件结构.....	17	3.2.8 并联机床的总体布局.....	81
2.2.1 单机或主从结构模块 .....	17	练习题.....	82
2.2.2 多主结构的 CNC 系统.....	23	第 4 章 数控机床的主运动部件.....	83
2.3 CNC 系统的软件结构.....	25	4.1 主运动系统的基本要求.....	83
2.3.1 CNC 装置软件和硬件的功能		4.2 主运动系统的参数 .....	84
界面 .....	25	4.2.1 主传动功率.....	84
2.3.2 CNC 装置的数据转换 .....	26	4.2.2 主传动的调速范围.....	85
2.3.3 CNC 装置的软件系统特点 .....	29	4.3 主运动系统的驱动方式.....	85
2.4 插补原理 .....	34	4.4 数控机床主运动系统的设计 .....	87
2.4.1 插补概述 .....	34	4.4.1 主传动无级变速系统的设计 .....	87
2.4.2 脉冲增量插补法 .....	36	4.4.2 分级变速箱的设计 .....	89
2.4.3 时间分割法 .....	49	4.4.3 主电动机恒功率调速范围 $R_{dp}$	
2.4.4 自动升降速控制及其软件		及额定功率 $P_d$ 的选定 .....	93
设计 .....	50	4.5 主轴部件设计 .....	97
2.5 刀具半径补偿原理.....	51	4.5.1 对主轴组件的性能要求.....	97
2.5.1 刀具半径补偿概述 .....	51	4.5.2 主轴组件的类型.....	98
2.5.2 刀具半径补偿的工作原理 .....	53	4.5.3 主轴.....	98
2.6 CNC 系统故障诊断功能.....	55	4.5.4 主轴轴承.....	100
练习题 .....	59	4.5.5 主轴组件的前悬伸和跨距.....	110



4.5.6	主轴组件的技术要求 .....	111	5.5.2	交流伺服电动机的结构和 工作原理 .....	147
4.5.7	主轴组件的动态特性 .....	112	5.5.3	交流伺服电动机的变频 调速 .....	149
4.5.8	主轴组件的平衡 .....	114		练习题 .....	151
4.5.9	主轴轴承的润滑与密封 .....	115	<b>第 6 章</b>	<b>数控机床的位置检测装置 .....</b>	<b>152</b>
4.5.10	主轴组件的刚度计算 .....	117	6.1	位置检测装置概述 .....	152
4.5.11	主轴组件径向刚度和转速的 参考值 .....	121	6.1.1	数控机床对检测装置的 要求 .....	154
4.6	齿形带传动设计 .....	122	6.1.2	位置检测装置分类 .....	154
4.6.1	齿形带的强度计算 .....	122	6.2	编码器 .....	155
4.6.2	齿形带传动的设计计算 .....	123	6.2.1	绝对式编码器 .....	155
	练习题 .....	124	6.2.2	增量式编码器 .....	156
<b>第 5 章</b>	<b>进给伺服系统 .....</b>	<b>125</b>	6.2.3	编码器在数控机床中的 应用 .....	158
5.1	进给伺服系统概述 .....	125	6.3	旋转变压器 .....	159
5.1.1	进给伺服系统基本概念 .....	125	6.3.1	旋转变压器的结构 .....	159
5.1.2	数控机床进给伺服驱动系统的 基本要求 .....	127	6.3.2	旋转变压器的工作原理 .....	160
5.1.3	数控机床进给伺服驱动系统的 基本组成 .....	128	6.4	感应同步器 .....	162
5.2	进给伺服系统分类 .....	129	6.4.1	感应同步器的结构与种类 .....	162
5.2.1	开环伺服系统 .....	129	6.4.2	感应同步器的安装 .....	164
5.2.2	闭环伺服系统 .....	130	6.4.3	感应同步器的工作原理 .....	164
5.2.3	半闭环伺服系统 .....	130	6.4.4	感应同步器的特点 .....	166
5.3	步进伺服系统 .....	131	6.5	光栅 .....	167
5.3.1	步进电动机的分类与基本 结构 .....	132	6.5.1	光栅的种类与精度 .....	167
5.3.2	步进电动机工作原理 .....	134	6.5.2	光栅的结构与测量原理 .....	169
5.3.3	步进电动机的使用特性 .....	135	6.6	磁栅 .....	172
5.3.4	步进电动机的驱动控制 系统 .....	137	6.6.1	磁栅的工作原理与结构 .....	173
5.4	直流伺服系统 .....	140	6.6.2	磁栅位置检测装置的结构 类型 .....	176
5.4.1	直流伺服电动机的分类 .....	141		练习题 .....	177
5.4.2	直流伺服进给电动机的结构和 工作原理 .....	142	<b>第 7 章</b>	<b>进给系统的机械传动结构 .....</b>	<b>178</b>
5.4.3	直流伺服电动机的机械 特性 .....	144	7.1	概述 .....	179
5.4.4	直流伺服进给驱动控制 基础 .....	144	7.1.1	数控机床进给传动机构的基本 组成 .....	179
5.5	交流伺服系统 .....	146	7.1.2	数控机床进给传动机构的基本 要求 .....	180
5.5.1	交流伺服电动机的分类与 特点 .....	147	7.2	齿轮传动副 .....	181
			7.2.1	圆柱齿轮传动消除间隙 .....	181



7.2.2 斜齿轮传动消除间隙 .....	183	9.2.1 数控加工工艺特点 .....	233
7.3 滚珠丝杠螺母传动装置及 支承 .....	184	9.2.2 数控加工工艺的主要内容 .....	234
7.3.1 滚珠丝杠螺母 .....	184	9.3 手工编程中的数学处理 .....	237
7.3.2 滚珠丝杠传动装置的设计 计算 .....	189	9.3.1 数值计算的内容 .....	237
7.3.3 滚珠丝杠支承专用轴承的 选用 .....	192	9.3.2 基点计算方法 .....	238
7.4 数控机床导轨 .....	196	9.3.3 非圆曲线节点的拟合计算 .....	239
7.4.1 导轨结构 .....	196	9.4 FANUC 数控车床编程 .....	241
7.4.2 塑料滑动导轨 .....	197	9.4.1 数控车床的编程特点 .....	241
7.4.3 滚动导轨 .....	198	9.4.2 基本编程指令 .....	241
7.5 机械传动部件的设计实例 .....	199	9.4.3 单一形状固定循环 .....	247
练习题 .....	206	9.4.4 复合形状固定循环 .....	249
<b>第 8 章 数控机床的刀具与工作交换 装置 .....</b>	<b>207</b>	9.4.5 螺纹车削 .....	255
8.1 数控机床的自动换刀装置 .....	207	9.4.6 子程序编程 .....	258
8.1.1 自动回转刀架 .....	208	9.4.7 数控车削实例 .....	260
8.1.2 转塔头式换刀装置 .....	210	9.5 SIEMENS 802S/C 数控车床 编程 .....	266
8.1.3 带刀库的自动换刀系统 .....	211	9.5.1 SIEMENS 802S/C 数控车床 编程基础 .....	266
8.2 数控机床的工作交换装置 .....	215	9.5.2 编程实例 .....	280
8.2.1 托盘交换装置 .....	215	9.6 FANUC 数控铣床编程 .....	284
8.2.2 工业机器人 .....	216	9.6.1 数控铣床的加工范围及刀具 选择 .....	284
8.2.3 有轨小车 .....	217	9.6.2 功能指令 .....	285
8.2.4 自动导向小车 .....	218	9.6.3 编程实例 .....	286
8.3 数控机床的回转工作台 .....	220	9.7 FANUC 加工中心编程 .....	291
8.3.1 数控回转工作台 .....	220	9.7.1 固定循环与孔加工 .....	291
8.3.2 分度工作台 .....	221	9.7.2 编程实例 .....	298
练习题 .....	222	9.8 FANUC 0i 系统宏程序编程 .....	300
<b>第 9 章 数控加工编程 .....</b>	<b>223</b>	9.8.1 用户宏变量 .....	300
9.1 数控加工编程基础 .....	223	9.8.2 用户宏操作指令 .....	303
9.1.1 程序编制方法 .....	223	9.8.3 用户宏程序应用 .....	308
9.1.2 数控编程步骤 .....	223	9.9 自动程序编制 .....	309
9.1.3 数控程序及程序段的构成 .....	224	9.9.1 数控自动程序编制系统的 组成及其特点 .....	309
9.1.4 数控机床坐标系 .....	226	9.9.2 数控语言及其应用 .....	310
9.1.5 基本编程指令 .....	228	9.9.3 自动编程技术 .....	312
9.2 程序编制中的工艺分析 .....	233	练习题 .....	318
		<b>参考文献 .....</b>	<b>320</b>

# 第1章 绪论

## 本章知识要点

- (1) 熟悉数控机床基本概念、基本组成。
- (2) 掌握数控机床的特点。
- (3) 掌握数控机床分类方式。
- (4) 了解数控机床的发展趋势。

## 探索思考

一般自动化设备中进给伺服系统驱动电机的选择与数控机床有什么不同？

## 预习准备

请先预习普通机床、电机工作原理及电机控制方面的知识。

## 1.1 数控机床定义、特点及其组成

### 1.1.1 数控机床的定义

数字控制 (Numerical Control, NC) 是现代发展起来的一种自动控制技术, 是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。

国家标准 (GB 8129—1987) 把机床数控技术定义为“用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”, 数控机床就是采用数控技术的机床。国际信息处理联盟 (International Federation of Information Processing) 第五技术委员会对数控机床作了如下定义: “数控机床是一个装有程序控制系统的机床, 该系统能够逻辑地处理具有使用代码, 或其他符号编码指令规定的程序”, 即数控机床是一种采用计算机技术, 利用数字信息进行控制的高效、自动化加工机床, 它能够按照机床规定的代码, 把各种机械位移量、工艺参数 (背吃刀量、进给量、切削速度等)、辅助功能 (如刀具交换, 切削液开、关等) 表示出来, 经过数控系统的逻辑处理与运算, 发出各种控制指令, 实现人们要求的机械动作, 自动完成零件加工任务。在被加工零件或加工工序变换时, 它只需改变控制的指令程序就可以实现新的加工。所以数控机床是一种柔性很强、技术含量较高、自动化程度很高的机电一体化加工设备。

随着计算机技术的发展, 计算机数控技术 (Computer Numerical Control Technology), 也称软件数控, 得到极大的发展, 其灵活性和通用性大大提高了数控机床的性能。现代数控机床加工中心如图 1-1 所示。



高速主轴 (将在第4章学习) : 数控加工中心的主轴部件。

刀具 (将在第8章学习) : 数控加工中心存放刀具的库所。

刀具自动交换装置 (将在第8章学习) : 从刀具中存取刀具、安装刀具的装置。

光栅 (将在第6章学习) : 数控加工中心的位置检测部件。

辅助元件 (将在第1章学习) : 对保证系统稳定可靠工作起重大作用。

主轴驱动与进给驱动 (将在第5章学习) : 加工过程与加工方法。

模糊、NC程序变换、干涉检测  
刀具自动交换装置 (将在第2、9章学习) : 数控系统原理与功能实现; 自动编程中刀具加工参数与刀具路径。

数控机床加工中心 (其数控系统介绍将在第1章进行分析) : 具有刀具和刀具自动交换装置的数控机床。机械加工中最顶尖的金属切削设备, 主要有床身 (导轨丝杠)、数控装置、检测装置、主运动部件、机械传动部件、刀库和换刀装置等组成。实现各种规定的动作和工作循环的全自动加工设备。

图 1-1 数控机床加工中心

### 1.1.2 数控机床的特点

从20世纪80年代以来,由于市场激烈竞争,更新产品迅速,中小批量零部件的生产越来越多。对工业国家来说,中、小批量生产的零件与产品数量约占总量的75%~80%,而且随着航空工业、汽车工业及轻工消费品生产的高速增长,复杂图形的零件越来越多,加工精度要求也越来越高,由于刚性生产自动化不能满足要求,柔性加工的重要性更加突出,数控机床正是在此“小批量、变品种”生产模式基础上发展起来的。

数控机床的主要特点有以下几点。

(1) 能够完成很多普通机床难以加工或根本不能加工的复杂型面的零件加工,尤其是复杂型面模具、涡轮叶片、螺旋桨加工等。

(2) 采用刚度高、精度好,并且精度保持性较好的数控机床,可提高零件的加工精度,还可以利用计算机软件技术进行误差补偿和校正,稳定产品的质量。

(3) 数控加工工序集中,可减少零件周转时间,可以提高生产率,与普通机床相比可提高2~3倍,尤其是某些复杂零件的加工,生产率可提高十几倍甚至几十倍。

(4) 可以实现一机多用,数控加工中心可以自动换刀,零件在一次装夹后,几乎能完成零件的全部加工部位的加工,可以替代5~7台普通机床加工,节省厂房面积。

(5) 几乎不需要专用的工装夹具,采用通用的夹具,只需改变零件加工数控程序,就可适应不同品种及尺寸规格零件的自动加工。

(6) 减少了在制品数量,加速了资金流动,提高经济效益。

(7) 数控机床操作人员一般只需装卸零件、更换刀具、利用操作面板来控制机床的自动加工,不需要进行繁杂的重复性手工操作,因此劳动强度可大为减轻,但对操作人员技术含量要求提高。

总而言之,数控机床一般具有“三高一低”的特点:高精度、高效率、高柔性及低劳动强度。

### 1.1.3 数控机床的构成

#### 1. 机床本体

机床本体,它主要由床身、立柱、工作台、导轨等基础件和刀库、刀架等配套件组成。数控机床由于切削用量大、连续加工发热量大等因素,对加工精度有一定影响。用于各种切削加工的机械部分,根据不同的零件加工要求,有车、铣、钻、磨、电加工等数控机床。与普通机床相比较,数控机床具有以下特点。

(1) 由于大多数数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,因此,其机械传动结构得到简化,传动链较短。



#### 案例 1-1

数控机床代表目前最前沿的机械加工技术,能替代人工操作传统机床、零件加工过程中的重复性工作,如装卸零件、更换刀具、测量零件精度等。

现假设请你来设计一台数控机床。

问题:

(1) 数控机床的基本构成部分应该有哪些?

(2) 主要功能是什么?它们之间有何联系?

(2) 为了适应数控机床连续地自动化加工,其机械结构具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形较小。

(3) 采用高效传动部件,如滚珠丝杆副、直线滚动导轨等。

## 2. CNC 系统

数控机床的核心,是由程序、输入输出设备、计算机数控装置(CNC 装置)、可编程控制器、主轴驱动装置和进给伺服驱动系统等组成的系统。

在一般数控加工过程中,首先启动 CNC 装置,在 CNC 内部控制软件的作用下,通过输入装置或输入接口读入零件的数控加工程序,并存放到 CNC 装置的程序存储器内。开始加工时,在控制软件作用下,将数控加工程序从存储器中读出,按程序段进行处理,先进行译码处理,将零件数控加工程序转换成计算机能处理的内部形式,将程序段的内容分成位置数据和控制指令,并存放到相应的存储区域,最后根据数据和指令的性质进行各种流程处理,完成数控加工的各项功能。

用于实现输入数字化的零件程序,完成输入信息的存储,数据转换,插补运算以及实现各种控制功能,其功能包括以下几点。

### 案例 1-1 分析

数控机床主要由机床本体、CNC 系统、驱动装置、辅助装置、编程机等组成。

CNC 系统是数控机床核心,能够完成机床预设的各项功能与操作。

(1) 多坐标控制(多轴联动)。

(2) 实现多种函数插补(直线、圆弧、抛物线等)。

(3) 代码转换(EIA/ISO 转换,英/公转换,二、十进制转换等)。

(4) 人机对话,程序输入,编辑与修改等。

(5) 可实现各种补偿功能,进行刀具半径、刀具长度、传动间隙、螺距误差的补偿。

(6) 实现故障自诊断。

(7) CRT 显示,实现轨迹、图形、字符显示。

(8) 联网及通讯功能。

CNC 系统制造商或供应商会向用户提供详细的 CNC 功能的具体说明书。数控机床制造商的不同、数控系统的不同会导致最终数控机床的编程、操作等不同。

## 3. 驱动装置

数控机床执行机械运动的驱动部件,普通机床是主轴箱实现传动与变速,而数控机床主轴与进给是由数控装置发出进给指令,通过电气或电液伺服系统实现。它是 CNC 装置和机床本体的联系环节,它把来自 CNC 装置的微弱指令信号调解、转换、放大后驱动伺服电机,通过执行部件驱动机床运动,使工作台精确定位或使刀具与工件按规定的轨迹作相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。数控机床的伺服驱动装置包括主轴驱动单元(主要是转速控制)、进给驱动单元(包括位移和速度控制)、回转工作台和刀库伺服控制装置以及相应的伺服电机等。伺服系统分为步进电机伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统和直线伺服系统。

## 4. 辅助装置

配套部件,有电器、液压、气动元件及系统,冷却、排屑、防护、润滑、照明及储运等装置。

## 5. 编程机

手工键盘输入程序或自动编程,对于复杂零件必须在机外编制,记录在信息载体上(如磁带、磁盘等),然后输入(网络传输)数控装置。

图 1-2 和图 1-3 为数控车削中心结构及其主要组成部分。

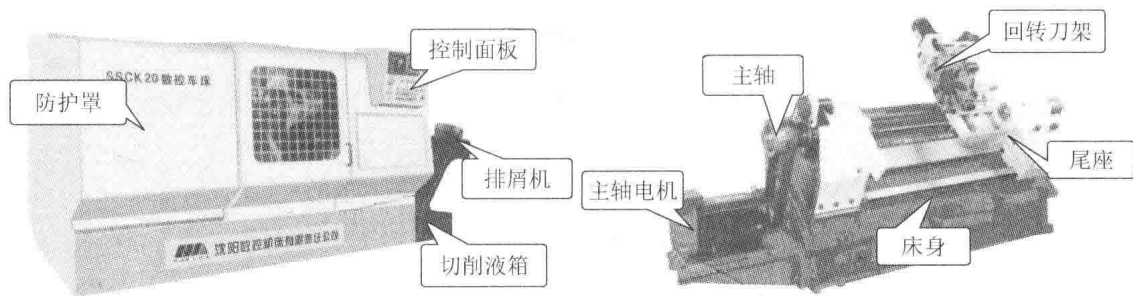


图 1-2 数控车削中心结构

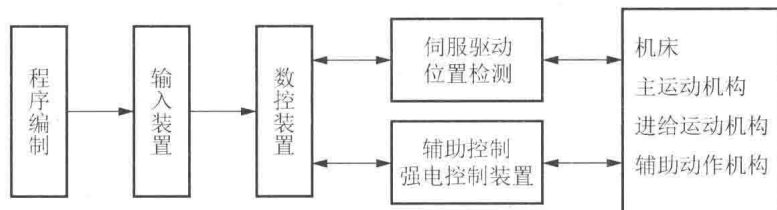


图 1-3 数控机床的主要组成部分

## 1.2 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，可从控制方式、伺服系统类型、功能水平、工艺方法几个方面进行分类，见表 1-1。

表 1-1 数控机床分类应用

数控机床种类	控制系统类别	执行机构类别	加工对象类别
数控车床	点位、直线控制	开环、半闭环	没有锥度、圆弧的轴
	轮廓控制	开环、半闭环、闭环	有锥度、圆弧的轴
加工中心机床	点位、直线控制	开环、半闭环	齿轮箱、框架等箱体
	特殊用途的轮廓控制	开环、半闭环、闭环	飞机零件的轮廓加工
数控铣床	点位、直线控制	开环、半闭环	箱体
	轮廓控制	开环、半闭环、闭环	平面轮廓的凸轮、样板、冲模、压模、铸模
数控钻床	点位控制	点位控制	印刷电路板、多孔零件
数控镗床	点位、直线控制	开环、半闭环	箱体
		闭环	精密箱体
数控磨床	轮廓控制	半闭环、闭环	凸轮、轧辊、冲模
数控电加工机床	轮廓控制	开环、半闭环	模具
数控金属成型机床	点位、直线轮廓控制	开环、半闭环	冲压、板材、弯管等

### 1. 按控制系统的特点分类

#### 1) 点位控制数控机床

只控制刀具相对工件从某一加工点移到另一个加工点之间的精确坐标位置，而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制，且移动过程中不作任何加工，如图 1-4 所示。通常采用这一



类系统的设备有数控钻床、镗床及冲床等。

## 2) 直线控制数控机床

不仅要控制点与点的精确位置,还要控制两点之间的移动轨迹是一条直线,且在移动中能以给定的进给速度进行加工。采用此类控制方式的设备有数控车床、数控铣床等。一般情况下,该数控机床有两至三个可控轴,但控制轴只有一个,如图 1-5 所示。

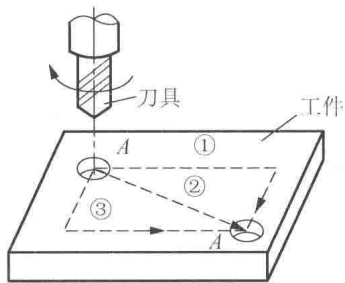


图 1-4 点位控制

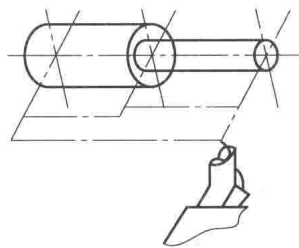


图 1-5 直线控制

## 3) 轮廓控制的数控机床

连续控制系统又称为轮廓控制系统或轨迹控制系统。这类系统能够对两个或两个以上坐标方向进行严格控制,即不仅控制每个坐标的行程位置,同时还控制每个坐标的运动速度。各坐标的运动按规定的比例关系相互配合,精确地进行加工,以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面。采用此类控制方式的设备有数控车床、铣床、加工中心、电加工机床及特种加工机床等,如图 1-6 所示。

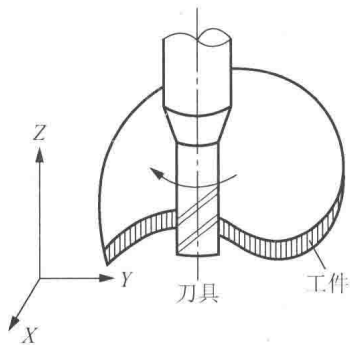


图 1-6 轮廓控制

## 2. 按执行机构的伺服系统类型分类

### 1) 开环控制数控机床

没有位移检测反馈装置的数控机床。数控装置发出的控制指令直接通过驱动装置控制步进电机的运转,然后通过机械传动系统转化成刀架或工作台的移动。开环数控机床结构简单,制造成本低,价格便宜,20 世纪末我国大量应用经济型数控机床,但是该机床无反馈系统,无法通过反馈自动进行误差检测和校正,因此位移精度不高。受步进电动机的步距角精度和工作频率以及传动机构的传动精度影响,开环系统的速度和精度都较低。

### 2) 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床带有位置检测装置,而且检测装置安装在刀架或工作台等执行部件上,可以随时检测执行部件的实际位置,如图 1-7 所示。插补得到的指令值与反馈的实际值作比较,根据其差值控制电机的转速,进行误差修正,直到误差消除为止。闭环控制数控机床可以消除由于机械部件误差给加工精度带来的影响,因此可以得到很高的加工精度、可靠性好,缺点是测量装置要和工作台行程等长,所以在大型数控机床上受到一定限制。

### 3) 半闭环伺服系统

在大多数数控机床中得到应用,如图 1-7 所示。将旋转型检测装置安装在驱动电机轴或滚珠丝杠上,通过检测转动件的角位移来间接测量机床工作台的直线位移,作为半闭环伺服系统的位置反馈用。其优点是测量方便、无长度限制。缺点是测量信号中增加了由回转运动转变为直线运动的传动链误差,从而影响了测量精度。



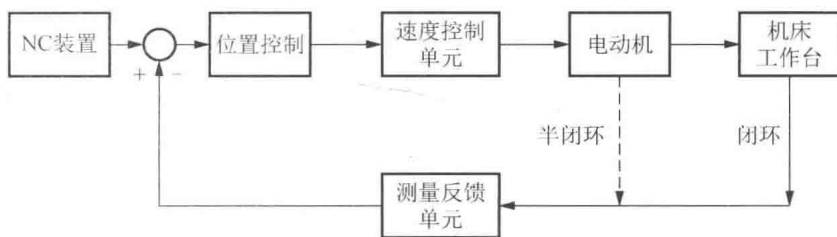


图 1-7 数控机床的控制类型

### 3. 按数控装置类型分类

#### 1) 硬件数控 (NC)

硬件数控机床使用硬连线数控装置，它的输入处理、插补运算和控制功能，都由专用的固定组合逻辑电路来实现，不同功能的机床，其组合逻辑电路也不相同。其逻辑电路返用性差，功能灵活性、通用性差。

#### 2) 软件数控 (CNC)

只需改变系统软件。这类机床使用计算机数控装置，即软件数控装置。这种数控装置的硬件电路是由小型或微型计算机再加上通用或专用的大规模集成电路制成，数控机床的主要功能几乎全部由系统软件来实现，所以不同功能的机床，其系统软件也就不同，而修改或增减系统功能时，不需变动硬件电路，只需改变系统软件。因此，具有较高的灵活性，同时由于硬件电路基本上是通用的，有利于大量生产、提高质量和可靠性、缩短制造周期和降低成本。目前几乎所有的数控机床都采用了计算机数控装置。

### 4. 按功能水平分类

#### 1) 经济型数控机床

这类机床的伺服进给驱动一般是由步进电机实现开环驱动的，功能简单、价格低廉、精度中等，能满足形状比较简单的直线、圆弧及螺纹加工需要。一般控制轴数在 3 轴以下，脉冲当量(分辨率)多为  $10\mu\text{m}$ ，快速进给速度在  $10\text{m}/\text{min}$  以下。

#### 2) 中档型数控机床

中档型数控机床也称标准型数控机床，采用交流或直流伺服电机实现半闭环驱动，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形状复杂的多轴联动数控机床或加工中心，具有功能强、工序集中、自动化程度高、柔性高特点，还具有良好的图形用户界面、三维动画功能，能进行加工仿真检验，同时还具有多功能智能监控系统 and 面向用户的宏程序功能，还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，且具有制造自动化协议 (Manufacturing Automation Protocol, MAP) 等高性能通信接口，能实现计算机联网和通信。

#### 小思考

现代机械加工技术更新日新月异，请你想象一下，未来的数控机床将是什么样子的，相对于现在的数控机床，它能更多的实现哪些功能？能更多的运用到哪些领域？

## 1.3 数控机床发展

### 1.3.1 数控机床国内外发展状况

采用数字控制技术进行机械加工的思想,最早是在1940年初提出来的。数控机床源于美国,美国的PARSON公司为提高生产飞机零件的靠模和机翼检查样板的精度及效率,最初提出了用穿孔卡来控制机床的设想,后来与麻省理工学院合作,于1952年3月,成功地研制出世界上第一台三坐标联动的试验型数控铣床,该铣床的控制装置由电子管组成。1974年微小处理机直接应用于数控机床,进一步促进了数控机床发展。

由于微电子和计算机技术的不断发展,数控机床的数控系统一直在不断更新,到目前为止已经历过以下几代变化。

第一代数控(1952~1959年):采用电子管构成的硬件数控系统。

第二代数控(1959~1965年):采用晶体管电路为主的硬件数控系统。

第三代数控(1965年开始):采用小、中规模集成电路的硬件数控系统。

第四代数控(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(1974年开始):采用微型计算机控制的系统。

第六代数控(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实现功能,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。

我国于1958年开始研制数控机床,由北京机床研究所和清华大学率先研制了电子管式开环步进驱动的数控机床。1972年集成数字电路的数控系统在清华大学研制成功之后,数控技术开始在车、铣、钻、镗、磨以及齿轮、线切割、电火花等加工领域推广应用,其中以数控线切割机床发展最快。1985年我国数控制机床在引进、消化国外技术基础上,进行了大量开发工作。在1990年后,我国数控机床逐步向高档数控机床发展。到“八五”末期,我国数控机床的品种已有500多个,年产量已达到1000台。

### 1.3.2 数控加工中心

加工中心是具有自动换刀装置和刀库的多功能计算机数控机床。自从20世纪50年代被引进,加工中心已经成为应用最广的切削机床之一。提高加工能力和多功能性是加工中心的主要特点。一台机床能够完成钻削、车削、铰孔、镗削、磨削、轮廓加工和攻螺纹加工,不再需要多台独立机床,因而大大降低了设备投入和劳动力数量。一名熟练的操作工通常可以同时操作两台加工中心,甚至更多台。大多数的零件在加工时,仅需安装一次就能完成加工。

成本节约可以通过降低物料传递费用、减少设备投入和厂房面积投入实现。大多数加工中心是按闭环控制原理工作的,保证了零件的质量,同时也降低了检测费用,减少了废品。特别一个零件的几个表面在加工后更容易控制在同一个公差范围内。从一个零件的加工转换到另一零件的加工能够轻松完成。

零件在加工中心上的实际加工时间可以比在单功能、人工操作的机床上缩短两倍甚至更多。特别是当需要多台单功能机床和频繁转换加工的时候,生产力每工时估计提高到原来的