



普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

机床数控技术

◎ 刘 军 张秀丽 主 编



➤ 着重介绍一些
基本概念、实施方
法和关键技术

➤ 突出机床数控
技术实施的思路和
方法的多样化

➤ 结合实例培养
学生分析问题和解
决问题的能力



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

机床数控技术

	刘 军	张秀丽	主 编
	王万新	闫存富	副主编
丁 攀	徐彦伟	吕刚磊	参 编
		夏广岚	主 审

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书系统地叙述了机床数控技术的有关内容, 突出了内容的先进性、技术的综合性, 内容全面、深入, 理论联系实际, 重在应用。

全书共分 8 章, 各章既有联系性, 又有一定的独立性, 内容包括数控技术概述、数控加工程序的编制、数控插补原理与刀具补偿原理、计算机数控装置、位置检测装置、数控机床的伺服系统、数控机床的机械结构、数控机床与先进制造技术, 各章后均附有习题。

考虑到数控技术的迅速发展及应用的日益广泛, 教材编写中除注意内容安排的系统性、完整性之外, 还注意突出介绍方法和思路上的多样性和实用性, 并体现数控技术的最新发展趋势。

本书可作为机械工程相关专业的本科生和研究生教材或参考书, 同时可供广大从事数控技术研究和应用的工程技术人员参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

机床数控技术 / 刘军, 张秀丽主编. —北京: 电子工业出版社, 2015.12

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

ISBN 978-7-121-27400-8

I. ①机… II. ①刘…②张 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 (2015) 第 237767 号

策划编辑: 郭穗娟

责任编辑: 郭穗娟

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 20.75 字数: 531 千字

版 次: 2015 年 12 月第 1 版

印 次: 2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

《普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材》

专 家 编 审 委 员 会

主任委员 黄传真

副主任委员 许崇海 张德勤 魏绍亮 朱林森

委 员 (排名不分先后)

李养良	高 荣	刘良文	郭宏亮	刘 军
史岩彬	张玉伟	王 毅	杨玉璋	赵润平
张建国	张 静	张永清	包春江	于文强
李西兵	刘元朋	褚 忠	庄宿涛	惠鸿忠
康宝来	宫建红	宁淑荣	许树勤	马言召
沈洪雷	陈 原	安虎平	赵建琴	高 进
王国星	张铁军	马明亮	张丽丽	楚晓华
魏列江	关跃奇	沈 浩	鲁 杰	胡启国
陈树海	王宗彦	刘占军	刘仕平	姚林娜
李长河	杨建军	刘琨明	马大国	

前 言

机床数控技术是先进制造技术的基础和重要组成部分,是计算机技术、自动控制技术、检测技术和机械加工技术的交叉和综合技术领域。它是根据机械加工工艺的要求,使用计算机对整个加工过程中的信息进行处理和控制,实现加工过程自动化。随着微电子技术、计算机技术、传感器技术和机械加工技术的发展,从 20 世纪 70 年代以后,计算机数控技术获得了突飞猛进的发展,数控机床和其他数控装备的普及应用使制造业发生了巨大的变化。同时,计算机数控技术的发展又极大地推动了计算机辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)等的先进制造技术的发展。

机床数控技术不仅具有较强的理论性,而且具有较强的实用性,它是由各种技术相互交叉、渗透、有机结合而成的一门综合技术。本书着重介绍机床数控技术的基本概念、数控加工工艺和数控机床编程的基础和方法、计算机数控装置和数字控制原理、数控机床的位置检测装置、数控机床的伺服系统、数控机床的机械结构、数控机床与先进制造技术。

本书的编写考虑学科的发展及国民经济的需要,总结编者多年的教学经验和研究成果。在内容安排上,着重介绍一些基本概念、实施方法和关键技术;在介绍实施方法时,突出思路和方法的多样化,以开阔学生思路,培养学生分析问题和解决问题的能力。本书以应用型机械类和近机类专业本科生和研究生的教育为对象,在学生已掌握了相关基本知识的基础上,系统学习机床数控技术的理论知识,加强理论联系实际的学习,注意多介绍一些数控工艺、编程方法和实例,以满足技术上的实用性,培养数控机床的实际操作能力。

本书由郑州科技学院刘军、河南农业大学张秀丽任主编,黄河科技学院闫存富、德州学院王万新任副主编,河南农业大学丁攀、河南科技大学徐彦伟、郑州科技学院吕刚磊参编。佳木斯大学教授夏广岚教授对本书进行审稿,在此表示感谢。

参加各章编写工作的人员分工如下:郑州科技学院刘军编写第 1 章和第 2.1、2.2 节;河南农业大学张秀丽编写第 2.3~2.7 节;德州学院王万新编写第 3 章和第 4 章;郑州科技学院吕刚磊编写第 5 章和第 7.7、7.8 节;河南农业大学丁攀编写第 6 章;黄河科技学院闫存富编写第 7 章 7.1~7.6 节;河南科技大学徐彦伟编写第 8 章。

由于编者水平有限,书中不足及不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 8 月

目 录

第 1 章 数控技术概述	1	2.4.2 非圆曲线节点坐标的计算	40
1.1 机床数控技术的基本概念	1	2.4.3 列表曲线型值点坐标的计算	44
1.2 数控机床的组成及工作原理	2	2.4.4 刀位点轨迹的计算	45
1.2.1 数控机床的组成	2	2.4.5 辅助计算	45
1.2.2 数控机床的工作原理	4	2.5 数控车削加工程序编制	46
1.3 数控机床的分类	5	2.5.1 数控车床编程特点与坐标系	46
1.3.1 按功能用途分类	5	2.5.2 数控车床常用编程指令	47
1.3.2 按运动轨迹分类	6	2.5.3 螺纹加工指令 G32、G92、 G76	54
1.3.3 按伺服系统的控制原理分类	7	2.5.4 车削固定循环功能	57
1.3.4 按数控系统的功能水平分类	8	2.5.5 数控车削加工编程实例	61
1.4 数控加工的特点及应用范围	9	2.6 数控铣削和加工中心加工 程序编制	64
1.4.1 数控机床的特点	9	2.6.1 数控铣床及加工中心编程 特点与坐标系	64
1.4.2 数控机床的应用	10	2.6.2 数控铣床及加工中心常用 编程指令	67
1.5 数控机床的产生与发展趋势	11	2.6.3 数控铣床及加工中心固定 循环指令	72
1.5.1 数控机床的发展概况	11	2.6.4 数控铣床及加工中心编程 实例	80
1.5.2 数控机床的发展趋势	12	2.7 自动编程简介	85
思考题与习题	17	2.7.1 概述	85
第 2 章 数控加工程序的编制	18	2.7.2 主要 CAD/CAM 系统	85
2.1 概述	18	2.7.3 自动编程实例	87
2.2 数控加工工艺基础	20	思考题与习题	93
2.2.1 数控加工零件的选择	20	第 3 章 数控插补原理与刀具补偿原理	96
2.2.2 数控加工零件的工艺性分析	21	3.1 概述	96
2.2.3 加工方法的选择与加工方案 的确定	23	3.1.1 基准脉冲插补	97
2.2.4 数控加工工序与工步的划分	25	3.1.2 数据采样插补	97
2.2.5 数控机床的刀具	26	3.2 基准脉冲插补	98
2.2.6 数控加工工序的设计	28	3.2.1 逐点比较法插补	98
2.2.7 数控加工工艺文件的编制	34	3.2.2 数字积分法插补	103
2.3 数控程序编制基础	35	3.3 数字采样插补	110
2.3.1 数控编程的方法	35	3.3.1 直线插补	110
2.3.2 数控机床坐标系	35		
2.3.3 加工程序结构与格式	39		
2.4 程序编制中的数值计算	40		
2.4.1 基点坐标的计算	40		

3.3.2 圆弧插补·····	111	5.4.3 感应同步器检测装 置的优点·····	171
3.4 数控装置进给速度控制·····	114	5.5 旋转变压器·····	171
3.4.1 进给速度控制·····	114	5.5.1 旋转变压器的结构和 工作原理·····	171
3.4.2 加减速速度控制·····	115	5.5.2 旋转变压器的应用·····	173
3.5 刀具补偿原理·····	120	5.5.3 旋转变压器的主要参数·····	174
3.5.1 刀具半径补偿计算·····	121	思考题与习题·····	174
3.5.2 C 功能刀具半径补偿计算·····	122	第 6 章 数控机床的伺服系统·····	175
思考题与习题·····	124	6.1 概述·····	175
第 4 章 计算机数控装置·····	125	6.1.1 伺服系统的概念·····	175
4.1 概述·····	125	6.1.2 数控机床对伺服系统 的要求·····	176
4.1.1 CNC 系统的组成·····	126	6.1.3 伺服系统的分类·····	178
4.1.2 CNC 系统的功能和 一般工作过程·····	126	6.1.4 伺服系统的发展·····	180
4.2 CNC 装置的硬件结构·····	130	6.2 主轴伺服系统·····	182
4.2.1 单 CPU 系统的硬件结构·····	131	6.2.1 基本要求·····	182
4.2.2 多 CPU 系统的硬件结构·····	132	6.2.2 工作原理·····	183
4.2.3 开放式 CNC 系统·····	133	6.2.3 主轴分段无级变速·····	185
4.3 CNC 装置的软件结构·····	138	6.2.4 主轴准停·····	186
4.3.1 CNC 软件结构特点·····	139	6.3 步进电动机伺服系统·····	191
4.3.2 CNC 软件结构模式·····	142	6.3.1 步进电动机组成及其 工作原理·····	191
4.4 可编程机床控制器 PMC·····	147	6.3.2 步进电动机的特性及选择·····	194
4.4.1 PLC 的概述·····	147	6.3.3 步进电动机的控制线路·····	196
4.4.2 PLC 在数控机床上的应用·····	152	6.4 直流伺服电动机伺服系统·····	198
思考题与习题·····	159	6.4.1 直流伺服电动机及工作特性·····	198
第 5 章 位置检测装置·····	160	6.4.2 直流伺服电动机的速度控制 方法·····	202
5.1 概述·····	160	6.5 交流伺服电动机伺服系统·····	206
5.1.1 位置检测装置的作用及要求·····	160	6.5.1 交流伺服电动机的分类及 特点·····	206
5.1.2 位置检测装置的分类·····	161	6.5.2 交流伺服电动机的结构及 工作原理·····	207
5.2 光栅·····	162	6.5.3 交流伺服电动机的主要 特性参数·····	209
5.2.1 光栅的结构及特点·····	162	6.5.4 交流伺服电动机的调速方法·····	210
5.2.2 光栅的工作原理·····	163		
5.2.3 光栅位移-数字变换电路·····	164		
5.3 脉冲编码器·····	165		
5.3.1 增量式脉冲编码器·····	166		
5.3.2 绝对值式脉冲编码器·····	167		
5.4 感应同步器·····	168		
5.4.1 感应同步器的结构和 工作原理·····	168		
5.4.2 感应同步器的应用·····	170		

6.6 直线电动机传动	210	7.7.3 刀具选择方式	276
6.6.1 直线电动机的工作原理	210	7.8 数控机床液压与气动装置	279
6.6.2 直线电动机的结构形式	211	7.8.1 数控机床液压及气压	
6.6.3 直线电动机的特点	211	传动特点	279
思考题与习题	212	7.8.2 数控机床液压及气压	
第7章 数控机床的机械结构	213	传动的历史	280
7.1 概述	214	7.8.3 数控机床液压及气压	
7.1.1 数控机床机械结构的组成	214	执行装置	280
7.1.2 数控机床机械结构的特点	214	7.8.4 液压与气压传动系统在	
7.1.3 数控机床对机械结构的要求	216	数控机床上的应用	281
7.2 数控机床整体布局	217	思考题与习题	283
7.2.1 数控车床的布局	218	第8章 数控机床与先进制造技术	285
7.2.2 数控铣床的布局	219	8.1 概述	285
7.2.3 加工中心的布局	220	8.1.1 概念	285
7.3 数控机床的主传动系统	223	8.1.2 先进制造技术的特征	286
7.3.1 数控机床对主传动系统的		8.1.3 先进制造技术的体系	
要求	223	结构和分类	287
7.3.2 数控机床主传动系统的		8.2 直接数字控制 (DNC)	289
类型	224	8.2.1 DNC 技术的原理	289
7.3.3 主轴部件	227	8.2.2 DNC 系统的组成	290
7.3.4 主轴润滑与密封	237	8.2.3 DNC 系统的控制结构	291
7.4 数控机床的进给传动系统	238	8.3 柔性制造系统	294
7.4.1 数控机床进给传动系统的		8.3.1 柔性制造技术概述	294
要求	239	8.3.2 柔性制造系统的定义	
7.4.2 数控机床进给传动系统的		和特征	294
形式	239	8.3.3 柔性制造系统的组成	295
7.4.3 滚珠丝杠螺母副	240	8.3.4 柔性制造系统的类型和	
7.5 数控机床的导轨	246	适应范围	296
7.5.1 数控机床对导轨的要求	246	8.3.5 FMS 的工作过程	297
7.5.2 数控机床导轨形状和		8.3.6 FMS 的实例	297
组合形式	247	8.3.7 FMS 的效益	298
7.5.3 数控机床常用导轨	249	8.4 计算机集成制造系统	
7.5.4 机床导轨的使用及防护	254	(CIMS)	299
7.5.5 齿轮间隙的调整	256	8.4.1 CIMS 的产生与发展	299
7.6 数控机床回转工作台	258	8.4.2 CIMS 的基本组成与	
7.6.1 数控回转工作台	258	体系结构	301
7.6.2 分度工作台	261	8.4.3 CIMS 中的先进制造模式	303
7.7 数控机床的自动换刀系统	264	8.4.4 CIMS 的发展趋势	319
7.7.1 数控车床的自动换刀装置	264	8.5 快速成形简介	320
7.7.2 数控加工中心自动换刀装置	268	8.5.1 快速成形技术产生的背景	320

8.5.2 快速成形技术的基本原理·····	320
8.5.3 快速成形技术的特点·····	321
8.5.4 快速成形技术的类型·····	321
8.5.5 快速成形技术的应用·····	322

8.5.6 快速成形技术的发展方向·····	322
------------------------	-----

思考题与习题·····	323
-------------	-----

参考文献·····	324
-----------	-----

第 1 章 数控技术概述

教学要求

通过本章的学习，了解数控机床的组成和应用范围。

引 例

数控技术是 20 世纪制造技术的重大成就之一，是吸收了计算机技术、自动控制技术、检测技术和机械加工技术精华的交叉和综合技术领域。图 1-1 所示的这类异形曲面复杂零件，只有通过高精度的数控加工装备（图 1-2）采用数控方法才能够顺利完成加工。

数控技术和数控装备是制造业现代化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响一个国家的经济发展和综合国力，关系到一个国家的战略地位。因此，世界上各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。

在我国，数控技术与装备的发展也得到了高度重视，近年来取得了相当大的进步。特别是在通用微机数控领域，以 PC 平台为基础的国产数控系统，已经走在了世界前列。但是，我国在数控技术研究和产业发展方面也存在不少问题，特别是在技术创新能力、商品化进程、市场占有率等方面情况尤为突出。如何有效解决这些问题，使我国数控领域沿着可持续发展的道路，从整体上全面迈入世界先进行列，使我们在国际竞争中有举足轻重的地位，将是数控研究开发部门和生产厂家所面临的重要任务。

什么是数控技术？数控机床由什么组成？其工作原理及关键技术、数控机床的特点、数控机床的发展趋势等，本章及本书其他章节将对这些内容进行阐述。

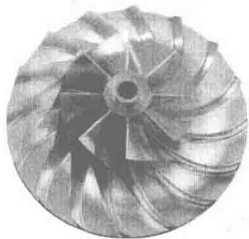


图 1-1 异形曲面复杂零件

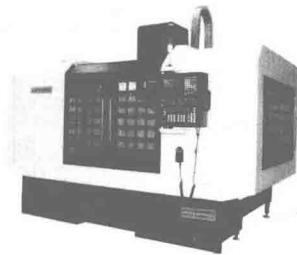


图 1-2 数控机床

1.1 机床数控技术的基本概念

数字控制（Numerical Control, NC）是近代发展起来的一种用数字化信号对机床运动及

其加工过程进行自动控制的一种方法，简称数控（NC）。

数控技术（Numerical Control Technology）是指用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术，它是制造业实现自动化、柔性化和集成化生产的基础技术。计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）、计算机集成制造系统（CIMS）、柔性制造系统（FMS）和智能制造（IM）等先进制造技术都是建立在数控技术之上的。由于计算机应用技术的发展，目前广泛采用通用或专用计算机实现数字程序控制，即计算机数控（Computer Numerical Control, CNC）。数控技术广泛应用于金属切削机床和其他机械设备，如数控铣床、数控车床、机器人、机械手和坐标测量机等。

数控机床（Numerical Control Machine Tools）是指用计算机通过数字信息来自动控制机械产品加工过程的一类机床。它把机械加工过程中的各种控制信息用数字化代码表示，通过信息载体输入数控装置，经运算处理由数控装置发出各种信号控制机床各运动部件的动作，并按图样要求的形状、尺寸及加工的动作顺序，自动控制机床各部件的动作将零件加工出来。国际信息处理联盟（International Federation of Information Processing）对数控机床的定义：“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。”数控机床是集计算机应用、自动控制、精密测量、微电子和机械加工等技术于一体的，采用数控装置或计算机全部或部分地取代一般通用机床在加工零件时对机床的各种动作（如起动、加工顺序、改变切削用量、主轴变速、选择刀具、冷却液开停及停车等）人工控制的，一种高效率、高精度、高柔性和高自动化的机、电、液一体化的数控设备。

1.2 数控机床的组成及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出装置、数控装置、伺服系统、机床本体和检测反馈装置组成，如图 1-3 所示，图中实线部分为开环系统，虚线部分包含检测装置，构成闭环系统。

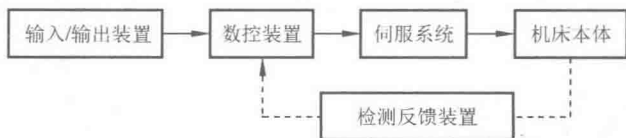


图 1-3 数控机床的组成

1. 输入/输出装置

输入/输出设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交互的装置，主要用于零件数控程序的编译、存储、打印和显示等。数控机床常用的信息载体有标准穿孔带、磁带和磁盘等。信息载体上记载的加工信息由按一定规则排列的文字、数字和代码所组成。目前国际上通常使用 EIA（Electronic Industries Association）代码以及 ISO（International Organization For Standardization）代码，这些代码经输入装置送给数控装置。常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机、磁盘驱动器、优盘和光盘等。

除此之外，还可采用通信方式进行信息交换，现代数控系统一般都具有利用通信方式

进行信息交换的能力。这种方式是实现 CAD/CAM 集成、FMS 和 CIMS 的基本技术。目前在数控机床上当采用的方式有以下几种。

- (1) 串行通信 (RS232 等串口)。
- (2) 自动控制专用接口和规范 (DNC 方式, MAP 协议等)。
- (3) 网络技术 (Internet、LAN 等)。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,也是区别于普通机床最重要的特征之一。数控装置通常由一台通用或专用微型计算机构成,包括输入接口、存储器、中央处理器、输出接口和控制电路等部分,如图 1-4 所示。数控装置用来接受并处理控制介质的信息,并将代码加以识别、存储、运算,输出相应的命令脉冲,经过功率放大驱动伺服系统,使机床按规定要求动作。它能完成加工程序的输入、编辑及修改,实现信息存储、数据交换、代码转换、插补运算以及各种控制功能。

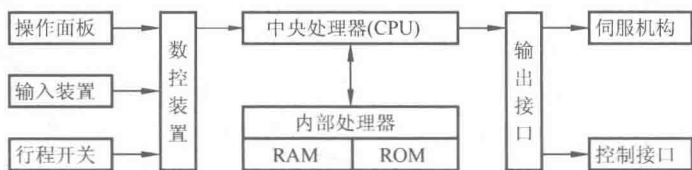


图 1-4 数控装置的组成

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分,主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成,并与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。常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。伺服系统将数控装置输出的脉冲信号放大,驱动机床移动部件运动或使执行机构动作,以加工出符合要求的零件。

伺服系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服系统中,还要使用位置检测反馈装置来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,按闭环原理,将其误差转换放大后控制运动部件的进给。伺服驱动系统性能的好坏直接影响数控机床的加工精度和生产率,因此要求伺服驱动系统具有良好的快速响应性能,能准确而迅速地跟踪数控装置的数字指令信号。

4. 检测反馈装置

检测反馈装置由检测元件和相应的检测与反馈电路组成。其作用是检测运动部件的位移、速度和方向,并将其转化为电信号反馈给数控装置,构成闭环控制系统。常用的检测元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。开环控制系统没有检测反馈装置。

5. 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置 (Automatic Tool Changer, ATC)、工件自动交换装置 (Automatic Pallet Changer, APC)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑

装置、冷却液装置、排屑装置、过载与限位保护装置等。

6. 机床本体

机床本体是指数控机床的机械结构实体部分。和普通机床相比,同样包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如底座、立柱、工作台(刀架)、滑鞍和导轨等。为了保证数控机床的快速响应特性,数控机床上普遍采用精密滚珠丝杠和直线运动导轨副。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工,数控机床的机械结构具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性和抗热变形等性能。在加工中心上,还具备有刀库和自动交换刀具的机械手。

1.2.2 数控机床的工作原理

数控机床在加工工艺与表面成形方法上与普通机床基本相同,在实现自动控制的原理和方法上区别很大。数控机床是用数字化信息来实现自动控制的。先将加工零件的几何信息和工艺信息编制成数控加工程序,然后由输入部分送入数控装置,经过数控装置的处理、运算,按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路,经过转换、放大去驱动伺服电动机,带动机床各轴运动,并进行反馈控制,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作,从而加工出零件的全部轮廓。其工作流程如下。

(1) 数控加工程序的编制。在零件加工前,首先根据被加工零件图样所规定的零件形状、尺寸、材料及技术要求等,确定零件的工艺过程、工艺参数、几何参数以及切削用量等,然后根据数控机床编程手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序单。对于较简单的零件,通常采用手工编程;对于形状复杂的零件,则在编程机上进行自动编程,或者在计算机上用 CAD/CAM 软件自动生成零件加工程序。

(2) 输入。输入的任务是把零件程序、控制参数和补偿数据输入到数控装置中去。输入的方法有纸带阅读机输入、键盘输入、磁带和磁盘输入以及通信方式输入等。

(3) 译码。数控装置接受的程序是由程序段组成的,程序段中包含零件轮廓信息、加工进给速度等加工工艺信息和其他辅助信息。计算机不能直接识别它们,译码就是按照一定的语法规则将上述信息解释成计算机能够识别的数据形式,并按一定的数据格式存放在指定的内存专用区域。在译码过程中对程序段还要进行语法检查,有错则立即报警。

(4) 刀具补偿。零件加工程序通常是按零件轮廓轨迹编制的。刀具补偿的作用是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹运动,而加工出所需要的零件轮廓。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿。

(5) 插补。插补的目的是控制加工运动,使刀具相对于工件做出符合零件轮廓轨迹的相对运动。具体地说,插补就是数控装置根据输入的零件轮廓数据,通过计算把零件轮廓描述出来,边计算边根据计算结果向各坐标轴发出运动指令,使机床在相应的坐标方向上移动,将工件加工成所需的轮廓形状。插补只有在辅助功能(换刀、换挡、冷却液等)完成之后才能进行。

(6) 位置控制和机床加工。插补的结果是产生一个周期内的位置增量。位置控制的任务是在每个采样周期内,将插补计算出的指令位置与实际反馈位置相比较,用其差值去控制伺服电动机,电动机使机床的运动部件带动刀具按规定的轨迹和速度进行加工。在位置

控制中通常还应完成位置回路的增量调整、各坐标方向的螺距误差补偿和方向间隙补偿，以提高机床的定位精度。

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按功能用途分类

1. 金属切削类数控机床

通过从工件上除去一部分材料得到所需零件的数控机床，如图 1-5 所示。这类机床的品种与传统的通用机床一样，有数控车床、数控钻床、数控铣床、数控镗床、数控磨床和加工中心等。根据其自动化程度的高低，又可将金属切削类数控机床分为普通数控机床、加工中心机床和柔性制造单元（FMC）。

普通数控机床和传统的通用机床一样，有车、铣、钻床等，这类数控机床的工艺特点和相应的通用机床相似，但它们具有加工复杂形状零件的能力。常见的加工中心机床有镗铣类加工中心和车削加工中心，它们是在相应的普通数控机床的基础上加装刀库和自动换刀装置而构成的。其工艺特点是：工件经一次装夹后，数控系统能控制机床自动地更换刀具，连续自动地对工件各加工面进行铣（车）、镗、钻等多工序加工。柔性制造单元是具有更高自动化程度的数控机床。它可以由加工中心和搬运机器人等自动物料存储运输系统组成，有的还具有加工精度、切削状态和加工过程的自动监控功能。



图 1-5 金属切削类数控机床

2. 成形加工类数控机床

通过物理的方法改变工件形状才能得到所需零件的数控机床，如数控折弯机、数控冲床等，如图 1-6 所示。

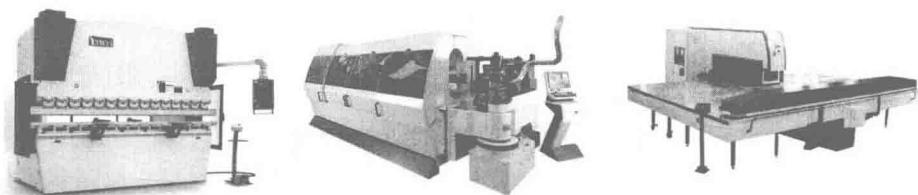


图 1-6 成形加工类数控机床

3. 特种加工类数控机床

利用特种加工技术（电火花、激光技术等）得到所需零件的数控机床，如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等，如图 1-7 所示。

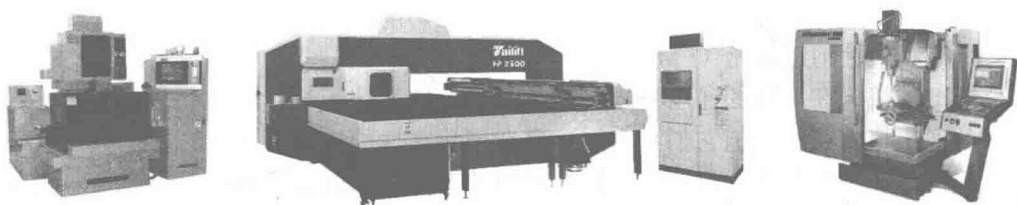


图 1-7 特种加工类数控机床

4. 其他类型数控机床

一些广义上的数控装备，如工业机器人、数控三坐标测量机等，如图 1-8 所示。



图 1-8 工业机器人和数控测量机

1.3.2 按运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制的数控机床用于加工平面内的孔系，主要有数控钻床、印制电路板钻孔机床、数控镗床、数控冲床和三坐标测量机等。这类机床的特点是在刀具相对于工件移动过程中，不进行切削加工，对运动的轨迹没有严格的要求，但要求坐标位置有较高的定位精度。这类数控机床仅能控制在加工平面内的两个坐标轴带动刀具与工件相对运动，从一个坐标位置快速移动到下一个坐标位置，然后控制第三个坐标轴进行钻、镗切削加工。

2. 直线控制数控机床

这类数控机床不仅要求具有准确的定位功能，还要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工，刀具相对于工件移动的轨迹是平行机床各坐标轴的直线，或两轴同时移动构成

45°的斜线，并能控制位移速度、选择不同的切削用量，以适应不同刀具及材料的加工。这一类数控机床包括数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心，其数控装置的控制功能比点位数控机床复杂。这些机床有两个到三个可控轴，但受控制的轴只有一个。

3. 轮廓控制数控机床

这种数控机床能对两个或两个以上的坐标轴进行联动切削加工控制，以加工出任意斜率的直线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面，如图 1-9 所示。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表面要求，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。因此要求其数控装置应有很好的补偿功能，如刀具补偿、丝杠螺距误差补偿、传动反向间隙补偿、直线和圆弧插补等。轮廓控制数控机床包括数控车床、数控磨床、数控铣床、数控线切割机和加工中心等。现代的数控机床基本上都是这种类型。若根据其联动轴数还可细分为二轴联动数控机床、二轴半联动数控机床、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等。

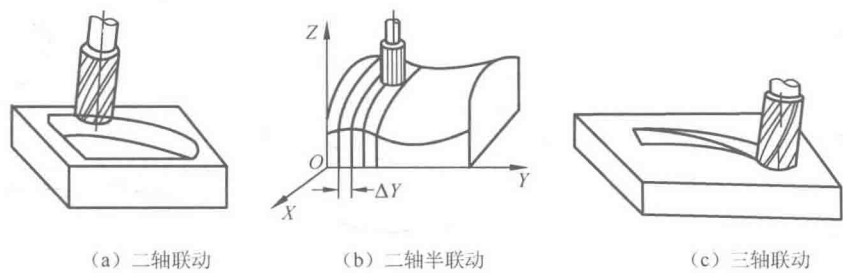


图 1-9 联动轴的轮廓控制切削加工

1.3.3 按伺服系统的控制原理分类

按数控系统的进给伺服子系统有无位置测量装置可分为开环数控机床和闭环数控机床，在闭环数控系统中根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环和半闭环两种。

1. 开环控制数控机床

这种机床运动部件的位移没有检测反馈装置（见图 1-10），数控装置发出信号而没有反馈信息，因此称为开环控制。开环控制数控机床容易掌握，但控制精度受到限制，主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度。这类机床一般以功率步进电动机作为伺服驱动元件，具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单和价格低廉等优点，在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用。一般用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

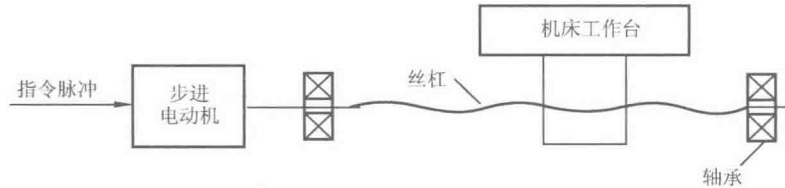


图 1-10 开环控制系统框图

2. 全闭环控制数控机床

与开环控制数控机床不同，这类机床带有检测反馈装置（见图 1-11），它可将测量出的实际位移值反馈到数控装置中与输入的指令位移值相比较，用差值进行控制，直至差值为零，以实现运动部件的精确定位，此即闭环控制系统。从理论上讲，闭环控制系统可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量，具有很高的位置控制精度。但由于位置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，故很容易造成系统的不稳定，使闭环系统的设计、安装和调试都比较困难。闭环控制系统对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨移动的灵敏性等都有严格的要求，故价格昂贵。这类机床的特点是位移精度高，但调试、维修都较复杂，成本较高，一般适用于精度很高的数控机床，如超精车床、超精磨床、镗铣床和大型数控机床等。

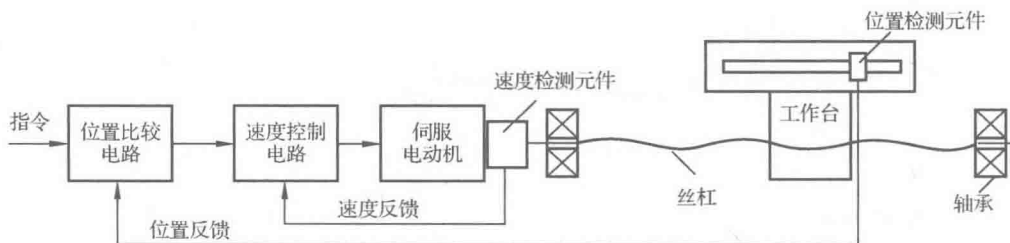


图 1-11 闭环控制系统框图

3. 半闭环控制数控机床

这类机床不是直接测量工作台位移量，而是通过检测丝杠转角，间接地测量工作台位移量，然后再反馈给数控装置（见图 1-12）。由于工作台位移没有完全包括在控制回路中，故称半闭环控制系统。由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，因此可获得较好的控制性能，其系统的稳定性虽不如开环系统，但比闭环要好。另外，由于在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的纠正，而位置环外的各环节，如丝杠的螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差均难以消除，因此，其精度比开环要好，比闭环要差。但可对这类误差进行补偿，因而仍可获得满意的精度。半闭环数控系统结构简单、调试方便、精度也较高，现在大多数中小型数控机床广泛采用半闭环控制系统。

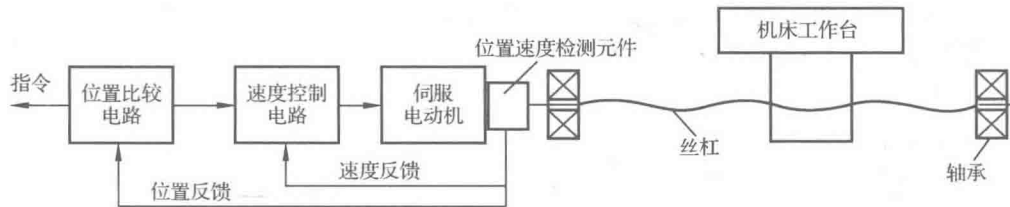


图 1-12 半闭环控制系统

1.3.4 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统相对分为低、中、高三个档次，其功能及指标见表 1-1。