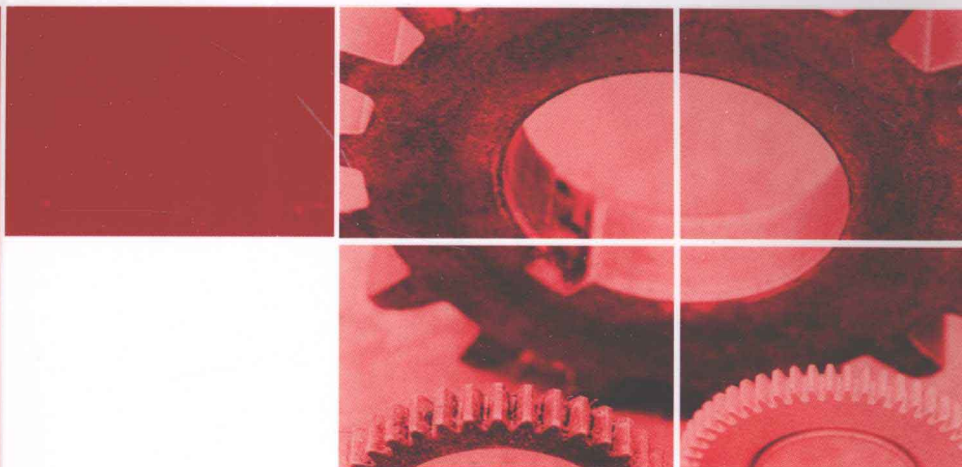


普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材



工程训练—— 数控机床编程与操作篇

主 编 张祝新

副主编 金绍江 邹振宇



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会编制的“高等学校机械基础系列课程现状调查报告暨机械基础系列课程教学基本要求”，以突出培养应用创新型工程技术人才为目标，结合工程训练教学改革经验和实际而编写的。

本书主要内容包括数控机床概述、数控加工编程基础、数控车床编程与操作、数控铣床及加工中心编程与操作、数控电火花线切割加工技术、数控自动编程及其应用等。

本书既可作为高等院校数控技术、模具设计与制造技术、机电一体化技术、机械制造及自动化等相关专业的数控机床编程与实训教学用书，也可作为相关工程技术人员更新知识、提高职业技能和学习数控知识的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

工程训练——数控机床编程与操作篇/张祝新主编. —北京：
机械工业出版社，2013.2

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材

ISBN 978-7-111-41055-3

I. ①工… II. ①张… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材②数控机床-程序设计-高等学校-教材③数控机床-操作-高等学校-教材 IV. ①TH16②TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 020120 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：丁昕祯 责任编辑：丁昕祯 武 晋

版式设计：霍永明 责任校对：程俊巧

封面设计：张 静 责任印制：张 楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·9.75 印张·239 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-41055-3

定价：19.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会编制的“高等学校机械基础系列课程现状调查分析报告暨机械基础系列课程教学基本要求”编写的，以培养工程应用型人才为目标，注重理论与实践相结合，突出技能操作训练。本书内容包括：数控机床概述、数控加工编程基础、数控车床编程与操作、数控铣床及加工中心编程与操作、数控电火花线切割加工技术、数控自动编程及其应用。

本书由张祝新教授统稿并担任主编，长春工程学院金绍江、吉林建筑工程学院邹振宇任副主编，其他参加编写人员有王桂龙、吴波、刘旦、伊延吉、王英。其中，张祝新编写第1.1节~第1.3节；邹振宇编写第1.4节~第1.6节；金绍江编写第2章、第4.1节和第4.2节；王英编写第3.1节，刘旦编写第3.2、3.3节和第6.2.2节；吴波编写第4.3节、第6.1节、第6.2.1、6.2.2、6.2.4节；伊延吉编写第5.6、5.2节，王桂龙编写第5.3、5.4节。

本书由韩立强教授担任主审，他对本书的编写提出了很多宝贵意见，在此表示感谢。

本书是工程训练中心教师多年从事数控机床教学和实训的经验总结，集中体现了注重实际应用能力培养的教学特点。

本书在编写过程中参考和引用了相关教材、手册、学术杂志等文献资料上的有关内容，借鉴了许多同行专家的教学、科研成果，在此一并表示诚挚的谢意。

本书内容全面，详略得当，通俗易懂，实用性强，既可作为高等院校数控技术、模具设计与制造技术、机电一体化技术、机械制造及自动化等相关专业的数控编程与实训教学用书，也可作为有关工程技术人员更新知识、提高职业技能、学习数控知识的参考用书。

目 录

前言

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控的基本概念	1
1.2 数控机床的产生与发展	1
1.2.1 数控机床的产生与发展过程	1
1.2.2 我国数控机床的发展	2
1.2.3 数控技术的发展趋势	3
1.3 数控机床的工作原理、组成及涉及的基础技术	5
1.3.1 数控机床的工作原理	5
1.3.2 数控机床的组成	5
1.3.3 数控机床涉及的基础技术	6
1.4 数控机床的分类方法	7
1.4.1 按工艺用途分类	7
1.4.2 按控制运动轨迹分类	7
1.4.3 按系统控制方式分类	8
1.4.4 按数控系统的功能水平分类	9
1.5 数控机床的应用范围及特点	9
1.5.1 数控机床的应用范围	9
1.5.2 数控机床的加工特点	10
1.6 数控机床安全操作规程及日常维护	10
1.6.1 数控机床安全操作规程	10
1.6.2 数控机床的日常维护	11
思考题	12
第 2 章 数控加工编程基础	13
2.1 数控编程概述	13
2.1.1 数控编程的基本概念	13
2.1.2 数控编程的步骤	13
2.1.3 数控编程的方法	14
2.1.4 数控程序的结构	15
2.1.5 主程序和子程序	16
2.2 数控机床的坐标系	16
2.2.1 数控机床坐标系建立原则	16
2.2.2 数控机床坐标轴的判定	17
2.2.3 机床坐标系和工件坐标系	18
2.3 常用编程功能指令代码	18
2.3.1 准备功能 G 指令	19
2.3.2 辅助功能 M 指令	19

2.3.3 刀具功能 T 指令	19
2.3.4 主轴功能 S 指令	19
2.3.5 进给功能 F 指令	20
思考题	20
第 3 章 数控车床编程与操作	21
3.1 数控车床简介	21
3.1.1 数控车床的分类	21
3.1.2 数控车床的加工对象	22
3.2 FANUC Oi 系统数控车床常用编程指令	22
3.2.1 数控车床的编程特点	22
3.2.2 数控车床坐标系的特点	23
3.2.3 基本编程指令	23
3.2.4 固定循环指令	26
3.2.5 数控车削加工综合训练	30
3.3 FANUC Oi 系统数控车床的操作	32
3.3.1 FANUC Oi 系统基本操作	33
3.3.2 操作面板	34
3.3.3 数控车床的对刀操作训练	37
思考题	38
第 4 章 数控铣床及加工中心编程与操作	39
4.1 数控铣床及加工中心简介	39
4.1.1 数控铣床	39
4.1.2 加工中心	39
4.2 FANUC Oi 系统数控铣床及加工中心常用编程指令	39
4.2.1 基本编程指令	39
4.2.2 刀具补偿指令	44
4.2.3 加工中心的换刀指令	48
4.2.4 固定循环指令	48
4.2.5 简化编程指令及其应用	51
4.2.6 数控铣削加工综合训练	53
4.3 FANUC Oi 系统数控铣床的操作	56
4.3.1 FANUC Oi 系统基本操作	56
4.3.2 操作面板	58
4.3.3 数控铣床的对刀操作训练	60
思考题	63
第 5 章 数控电火花线切割加工技术	65
5.1 电火花线切割加工的基础知识	65
5.1.1 电火花线切割加工的基本原理和必备条件	65
5.1.2 电火花线切割加工的特点及应用	66
5.1.3 线切割机床的分类	67
5.1.4 数控高速走丝电火花线切割加工机床的结构特点	68
5.1.5 数控电火花线切割加工常用名词术语	72

5.1.6 数控高速走丝电火花线切割加工要素	73
5.2 数控高速走丝电火花线切割编程基础	77
5.2.1 程序的组成	77
5.2.2 ISO 编程指令	79
5.2.3 数控电火花线切割编程实例	83
5.3 数控高速走丝电火花线切割自动编程	86
5.3.1 数控高速走丝电火花线切割自动编程系统简介	86
5.3.2 典型零件自动编程实例	91
5.4 数控高速走丝电火花线切割操作基础	94
5.4.1 机床名称及型号	94
5.4.2 机床开机及关机	94
5.4.3 工件装夹及找正	94
5.4.4 电极丝的安装	96
5.4.5 机床操作界面	98
思考题	105
第6章 数控自动编程及其应用	107
6.1 自动编程概述	107
6.1.1 国内外主要 CAD/CAM 软件简介	107
6.1.2 CAM 编程基本实现过程	109
6.2 Delcam 软件在数控自动编程中的应用	111
6.2.1 Delcam 软件介绍	111
6.2.2 Delcam FeatureCam 模块简介及实例分析	112
6.2.3 Delcam PowerSHAPE 模块简介及实例分析	123
6.2.4 Delcam PowerMILL 模块简介及实例分析	129
思考题	147
参考文献	149

第 1 章 数控机床概述

1.1 数控的基本概念

数控是数字控制（Numerical Control，NC）的简称，是用数字化信号对控制对象加以控制的一种方法，是自动控制技术的一种。数字控制具备对数字化信息进行逻辑运算、数学运算的能力，特别是还可用软件来改变信息处理的方式或过程，使机械设备大大简化并具有很大的柔性。因此，数字控制已被广泛用于机械运动的轨迹和开关量等方面的控制，如机床和机器人的控制等。

数控技术就是利用数字信息对机构的运动轨迹、速度和精度等进行控制的技术。

数控机床（Numerical Control Machine Tools）是一种安装了数字控制系统的机床。该系统能利用数字控制技术，准确地按照事先编制好的程序，自动加工出所需工件。其实质是将加工过程所需的各种操作（如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开机与停机、选择刀具、供给切削液等）、步骤以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码表示为程序，并将程序输入计算机，计算机对输入的程序进行处理与运算，发出各种指令来控制机床自动加工出所需要工件。

1.2 数控机床的产生与发展

1.2.1 数控机床的产生与发展过程

工业化生产始于蒸汽机时代（约 18 世纪），早期的工业生产大多为家庭作坊式的单机的生产方式，生产效率低，产品质量差。随着科学技术和社会生产力的不断发展，对机械产品的质量、性能、成本和生产率提出了越来越高的要求，解决这一问题的重要措施之一就是机械加工工艺过程的自动化，而早期的加工工艺过程自动化是采用一些刚性生产线，使用专用机床、组合机床、自动机床来实现高效率 and 加工质量的一致性，但这种生产方式，当生产产品或工艺发生变化时很难调整或者调整的周期较长，特别对单件、小批量生产不能适应，满足不了生产的个性化要求，而实际情况是单件、小批量生产占机械加工的 80% 左右，所以一种满足产品更新换代快、生产率高、成本低的自动化生产设备应运而生。

1946 年在美国诞生了世界上第一台电子计算机，为人类进入信息社会奠定了基础。1948 年，美国帕森斯（Parsons）公司在研制加工直升机叶片轮廓检验用样板的机床时，首先提出了应用电子计算机控制机床来加工样板曲线的设想。后来该公司受美国军方的委托，与美国麻省理工学院（MIT）伺服机构实验室合作，于 1952 年研制出世界上第一台三坐标联动立式数控铣床。

随着电子技术、计算机技术、网络技术、精密机械技术等方面的发展，数控机床飞速发

展。60 多年来, 数控机床主要经历了以下三个阶段的发展历程。

1. 数控技术发展的 NC 阶段

早期计算机的运算速度低, 这对当时的科学计算和数据处理影响还不大, 但不能适应机床实时控制与计算的要求, 人们不得不采用数字逻辑电路制成一台专用计算机作为数控系统, 称为硬件连接数控 (Hard-Wired NC), 简称为数控。这个阶段经历了电子管、晶体管和中小规模集成电路三个时期。

2. 数控技术发展的 CNC 阶段

1971 年, 美国 Intel 公司在世界上第一次将计算机的两个核心部件——运算器和控制器, 采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上, 称为微处理器 (Micro-Processor), 又称为中央处理单元 (CPU)。1974 年, 微处理器被美国、日本等国用于数控系统。由于集成电路的集成度和可靠性很高, 且价格低廉, 使数控系统的性能得以大幅度提升, 可靠性也有了很大提高。在以后 20 多年的发展中, 拥有微处理器系统的数控机床得到飞速发展和广泛应用。因为微处理器是计算机的核心部件, 后来人们称为计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC)。

3. 数控技术发展的 ONC 阶段

从 20 世纪 90 年代开始, 个人计算机得到广泛普及与应用, 性能也大幅度提升, 并能满足数控系统核心部件的要求。于是, 在美国首先出现了在个人计算机平台上开发的数控系统, 其特点是利用个人计算机的 Windows 操作平台, 支持第三方硬件板卡厂商和应用软件开发公司, 使在个人计算机上可运行的 CAD/CAM 等软件都能在数控系统中运行。与早期数控装置相比, 基于个人计算机平台的数控系统不仅使控制轴的数目大大增多, 而且其功能也远远超出了控制刀具运动轨迹和机床的范畴, 同时能够完成自动编程、自动监测、故障诊断与通信等功能, 能与标准计算机相互兼容, 能在最短的时间内应用计算机发展的最新成果。基于此阶段数控系统具有明显的开放性特点, 称其为开放性数控 (Open Numerical Control, ONC)。

1.2.2 我国数控机床的发展

我国于 1958 年研制出首台数控机床, 1975 年研制出第一台加工中心。概括起来我国数控机床的发展大体经历了以下三个阶段。

1. 起步阶段 (1958 ~ 1979 年)

1958 年, 清华大学和北京第一机床厂合作研制出我国第一台数控机床。由于我国基础理论研究滞后, 相关工业基础薄弱, 特别是电子技术落后, 配套件不过关, 虽然我国起步不晚, 但发展不快。20 世纪 60 ~ 70 年代, 我国与发达国家的差距开始拉大。70 年代, 国家组织数控机床技术攻关, 取得一定成效, 相继推出一些数控机床品种, 同时数控加工中心在北京、上海也陆续研制成功。但从整体来看, 不能形成产业化, 我国数控机床产业尚处于起步阶段。

2. 引进技术与开发阶段 (1980 ~ 1990 年)

我国数控机床的真正发展起源于 20 世纪 80 年代, 先后从日本、美国等国家引进了一些先进的数控系统、直流伺服电动机及主轴电动机等技术, 开始走引进与开发相结合的道路, 并进行了产业化生产。20 世纪 80 年代中后期, 我国经济型数控机床已形成一定的生产能

力,品种累计达80多种,有力地推动了我国数控机床产业的稳定发展。

3. 产业化及高速发展阶段(1990年至今)

20世纪90年代初期,我国进入经济转型期,由过去的计划经济向市场经济转变,这使得刚刚形成一定生产能力的数控机床产业受到很大冲击,许多机床厂纷纷转产或停产。

1995年开始,我国制定了“九五”规划,国家从宏观上采取措施:一方面加强国防工业和民用工业的投资力度,扩大内需;另一方面加强对进口机床的审批,使我国的数控机床产业得以迅速发展,许多技术复杂、功能齐全的大型及重型数控机床相继研制出来,如北京机床研究所研制的JCS-FMS-1.2型柔性制造系统。

“十五”(2001~2005年)期间,我国的数控机床产业更是迅猛发展,无论是数控机床的产值还是产量都成倍增长。2000年我国的数控金属切割机床产量仅为1.4万台,而2004年已达到5万余台,其中大型机床为7千余台。期间,许多国外著名机床厂商在我国投资建厂。2001年,日本川崎马扎克(MAZAK)在宁夏银川投资建设宁夏小巨人机床有限公司,生产数控车床、立式加工中心和车铣复合中心等;2003年,德国著名机床制造商德马吉在上海投资建厂,生产数控车床和立式加工中心;2004年,沈阳机床集团走向国门,收购了德国西思机床公司,实现海外建厂,意义非常重大。

“十一五”(2006~2010年)期间,随着一系列数控关键技术的突破和自主生产能力的形成,我国开始突破关键部件或系统外国制造的重围,进入世界高速和高精数控机床生产国的行列。从产量和产值来看,2010年我国数控机床产量达到23.6万台,同比增长62.2%;工业总产值达5536.8亿元,同比增长40.6%,数控机床产量和产值均列世界第一。从技术发展水平来看,我国国产机床数控化率由“十五”末的35.5%提高到“十一五”末的51.9%。在数控系统方面,已经开发出多轴多通道、总线式高档数控装置产品。武汉华中数控股份有限公司、沈阳高精数控技术有限公司等单位已完成50多套开放式全数字高档数控装置的生产。国产数控机床产品覆盖超重型机床、高精度机床、特种加工机床、锻压机床、前沿高技术机床等领域。

展望“十二五”,我国数控机床的发展将努力解决主机大而不强、数控系统和功能部件发展滞后、高档数控机床关键技术差距大、产品质量稳定性不高、行业整体经济效益差等问题,并将培育企业核心竞争力、自主创新、量化融合以及品牌建设等方面的建设提升到战略高度。力争通过10~15年的时间,实现由机床工具生产大国向机床工具生产强国转变,实现国产中高档数控机床在国内市场占有主导地位等一系列中长期目标。

1.2.3 数控技术的发展趋势

随着科技的发展,数控机床不断采用计算机、控制理论等领域的最新技术成果,其性能日益完善,应用领域不断扩大。当前世界数控技术呈现以下的发展趋势。

1. 高速、高效、高精度

(1) 高速 随着汽车、国防、航空等工业的高速发展以及铝合金等新材料的应用,对数控机床加工的高速化要求越来越高。高速可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。高速机床主要有以下几个方面优点。①主轴转速高,高速机床主要采用电主轴(内装式主轴电动机),主轴最高转速可达200 000r/min。②进给速度快,在分辨力为0.01 μm 时,最大进给速度可达到

240m/min, 且可获得复杂型面的精确加工。③换刀速度快, 目前国外先进加工中心的换刀时间普遍在 1s 左右, 有些甚至可达 0.5s。

(2) 高效 现代数控机床普遍采用实时处理的高性能 CPU、高速自动换刀装置、新型刀库和换刀机械手, 并采用各种形式的交换工作台, 使装卸工件的时间大大缩短, 这些技术特点都将会使加工效率大大提高。

(3) 高精度 从精密加工发展到超精密加工, 是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级, 乃至纳米级, 如超精密车铣、超精密磨削、超精密特种加工。

2. 高可靠性

高可靠性是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性一个数量级以上。高可靠性是高效率的前提保障, 当前国外数控系统平均无故障时间 (MTBF) 在 $7 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ h 以上, 数控机床的平均无故障时间 (MTBF) 普遍在 3000h 以上。

3. 模块化、智能化、柔性化

(1) 模块化 为适应数控机床多品种、小批量、高性价比的特点, 数控机床的结构要求功能部件模块化, 以便更好地适应市场需求, 节约资源, 降低成本。

(2) 智能化 数控技术自动化主要体现在故障智能诊断、人机会话自动编程、自动适应控制等方面。①智能诊断: 数控系统出现故障以后, 控制系统能够进行自动诊断并自动采取故障排除措施, 以适应长时间无人环境的要求。②人机会话自动编程: 建立切削用量专家系统和示教系统, 从而达到提高编程效率和降低对编程人员技术水平的要求。③自适应控制 (Adaptive Control, AC): 系统可对机床主轴扭矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数值进行自动测量, 并由 CPU 进行比较运算后发出修改主轴转速和进给量大小的信号, 确保机床处于最佳切削量状态, 从而在保证质量的条件下使加工成本最低或生产效率最高。

(3) 柔性化 柔性化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段。数控技术柔性化发展的趋势是从点 (数控单机)、线 (柔性制造单元 Flexible Manufacturing Cell, FMC) 向面 (柔性制造系统 Flexible Manufacturing System, FMS)、体 (计算机集成制造系统 Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 的方向发展, 并广泛使用机器人、物料自动存储检索系统。

4. 复合、环保

(1) 复合 就是一次装夹、多工序加工, 可以大幅度地提高设备利用率。数控加工中心 (Machining Center, MC) 便是一种能实现多工序加工的数控机床。

(2) 环保 就是机床设计、制造、使用过程中要求绿色节能, 如高速无切削液切削技术的应用。

5. 开放性

为适应数控机床进线、联网、个性化、柔性化及数控技术迅速发展的要求, 设计生产开放式数控系统的数控机床已成为今后市场需求的主要趋势。

6. 为新一代数控加工工艺提供装备

为适应制造业自动化发展的需要, 向 FMC、FMS 和 CIMS 提供基础设备, 要求数字控制制造系统不仅能完成通常的加工功能, 而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动误差补偿、自动诊断、联网通信等功能。新一代数控加工设备的出现与技术水平的提高, 促使数控机床性能向高精度、高速度、高柔性方向发展, 使现代加工技术水平不断提高。

1.3 数控机床的工作原理、组成及涉及的基础技术

1.3.1 数控机床的工作原理

数控机床利用数字化信号来实现对加工工艺过程的自动控制，是一种高度自动化的机床。数控机床加工零件时，首先要将加工零件的几何信息和工艺信息按照机床数控系统的指令要求编制成数控加工程序，然后将程序输入数控系统中，经过数控系统的处理、运算、伺服放大等来控制机床的主轴转动、进给移动、更换刀具、工件的松开与夹紧、润滑及冷却泵的开与关等动作，使刀具与工件及其他辅助装置严格按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作，从而完成零件轮廓的加工。

1.3.2 数控机床的组成

数控机床通常由输入装置、计算机数控装置、伺服系统、检测及反馈装置、辅助装置、机床本体等组成。

1. 输入装置

输入装置的作用就是将数控程序载体上的数控代码传递并存入到数控系统内。根据控制介质的不同，输入装置可以是光盘驱动器、磁带机或磁盘驱动器等。简短的数控加工程序也可通过机床面板上的键盘直接输入数控系统。输入到机床上的代码信息经过数控系统识别与译码之后，转换为相应的电脉冲信号传送至数控装置的内存存储器，这些指令与数据将作为数控装置控制机床运动的原始数据。

2. 计算机数控装置（CNC）

计算机数控装置是数控机床的中心环节，主要包括处理器（CPU）、存储器、局部总线、外围逻辑电路和输入输出控制等。

计算机数控装置的功能是接收从输入装置送来的脉冲信号，并对这些信号进行运算处理，输出各种控制功能指令，控制伺服系统和辅助功能系统有序地运行。

3. 伺服系统

伺服系统是数控装置和机床本体的联系环节，它的作用是把来自数控装置微弱的指令信息解调、转换、放大后驱动伺服电动机，带动机床的移动部件准确地移动。它的伺服精度和动态响应特性是影响机床加工精度的重要因素之一。伺服系统包括驱动装置、执行部件两大部分。伺服电动机是伺服系统的执行元件，驱动控制系统是伺服电动机的动力源。常用伺服电动机有功率步进电动机，直流伺服电动机，交流伺服电动机等。伺服系统与脉冲编码器的组合构成了较理想的半闭环伺服系统，已经被广泛采用。

4. 检测及反馈装置

检测及反馈装置是为了提高数控系统的加工精度，它的作用是将机床导轨、主轴的位移量和移动速度等参数检测出来，并反馈到数控装置中，数控装置根据反馈回来的信息进行比较判断并发出相应的指令，纠正传动链产生的误差，从而提高机床加工精度。数控机床常用的检测元件有编码器、感应同步器、光栅、磁尺等。

5. 辅助装置

辅助装置是把计算机送来的辅助控制指令（M、S、T）等经机床接口转换成强电信号，用来控制主轴电动机的转动、停止和变速，冷却系统的开和关及自动换刀等辅助功能动作的完成。

6. 机床本体

机床本体是指机械结构实体。它将数控机床的其他部分有机地联系在一起，主要由主运动部件、进给运动部件、支承部件及辅助装置等组成。与普通机床相比，数控机床的外部造型、整体布局，传动系统、支承系统、排屑系统与刀具系统的部件结构等方面都已发生了很大的变化。在数控机床的设计时，对精度、静刚度、动刚度和热刚度等方面提出了更高的要求，而传动链则要求尽可能简单，目的是为了满足不同数控加工的要求和充分发挥数控机床的特点。

1.3.3 数控机床涉及的基础技术

数控机床综合了当今世界许多最新的技术成果，这些技术成果主要包括：精密机械、计算机及信息处理、自动控制及伺服驱动、精密检测及传感和网络通信等技术。其核心是由微电子技术向精密机械技术渗透所形成的机电一体化技术。

1. 精密机械技术

精密机械技术是数控机床的基础，包括精密机械设计和精密机械加工两个方面。机械结构在数控机床中占很大比例，因此要不断发展各种新的设计计算方法和新型机械结构，采用新材料和新工艺，使新一代数控机床的主机具有高精度、高速度、高可靠性、体积小、重量轻、维修方便、价格低廉等特点。

2. 计算机及信息处理技术

计算机技术主要包括计算机软件技术、计算机硬件技术、数据库技术和网络通信技术等。

信息处理技术主要包括信息的存取、运算、判断、决策和交换等。计算机作为信息处理的工具，两者之间有着极为密切的关系。数控系统中计算机指挥和管理整个系统安全有序地运行。信息处理的高速和正确将直接影响整个系统的工作质量和效率。

3. 自动控制及伺服驱动技术

自动控制及伺服驱动技术对数控机床的功能、动态特性和控制品质具有重要影响。例如在伺服速度环控制中采用前馈控制，使传统的位置环偏差控制的滞后现象得到很大改善，并增加了系统的稳定性。目前数控机床的伺服系统中，交流伺服电动机驱动已逐步取代了其他的伺服驱动，与之配套的是电力电子技术，提供了瞬时输出很大的峰值电流和完善的保护功能。

4. 精密检测及传感技术

精密检测及传感技术是闭环和半闭环控制系统中的关键技术。精密检测的关键器件是传感器，数控系统要求传感器能迅速、精确地获取信息，并在复杂环境下可靠地工作。目前精密检测及传感技术与计算机技术相比相对落后，因此精密检测及传感技术是当前很多科研部门的重点攻关项目。

5. 网络和通信技术

随着计算机网络和通信技术的广泛应用,正在对数控机床和以数控机床为基础的柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)乃至计算机集成制造系统(CIMS)产生重大而深远的影响。网络和通信技术还可以实现信息资源共享、图样的无纸化管理及产品的异地加工等。

1.4 数控机床的分类方法

随着数控技术的发展,数控机床的种类和规格越来越多,对当前数控机床如何分类,国家尚无统一标准。为了便于理解和分析,根据数控机床的功能和组成,按以下四种分类方法分类。

1.4.1 按工艺用途分类

按工艺用途分类,数控机床可分为数控钻床、数控车床、数控铣床(加工中心)、数控磨床、数控雕刻机床等金属切削类机床,如图1-1所示。

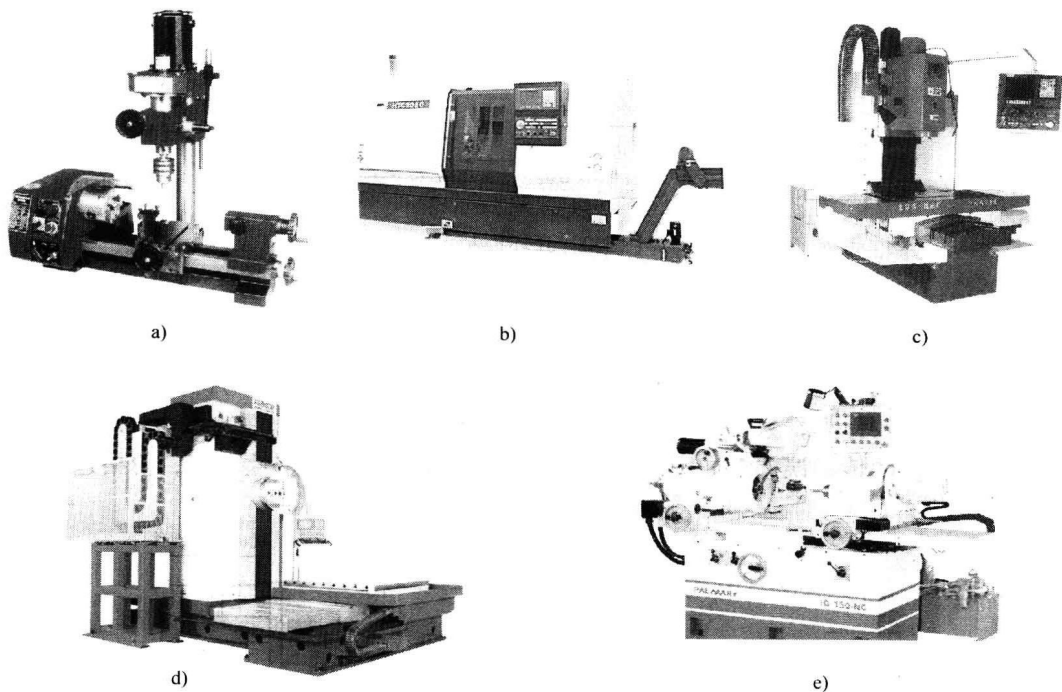


图 1-1 常用数控机床

a) 数控钻床 b) 数控车床 c) 数控铣床 d) 加工中心 e) 数控磨床

1.4.2 按控制运动轨迹分类

按控制运动轨迹分类,常将数控机床分为点位控制数控机床、轮廓控制数控机床。

1. 点位控制 (Position Control) 数控机床

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定位, 在运动和定位过程中不进行任何加工工序。最典型的点位控制数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控点焊机和数控弯管机等。

2. 轮廓控制 (Contour Control) 数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制, 它不仅能够控制机床移动部件的起点与终点坐标值, 而且能够控制整个加工过程中每一个点的速度与位移量, 既要控制加工轨迹, 又要加工出符合要求的轮廓。数控车床、数控铣床、数控磨床和各类数控线切割机床是典型的轮廓控制数控机床。

1.4.3 按系统控制方式分类

数控机床按照被控量有无检测反馈装置可分为开环控制系统、半闭环控制系统和闭环控制系统三种。

1. 开环控制系统

开环控制系统是指不带位置反馈装置的系统, 如图 1-2 所示。其特点是精度较低, 但反应迅速, 调整方便, 工作比较稳定, 维修方便, 成本低。

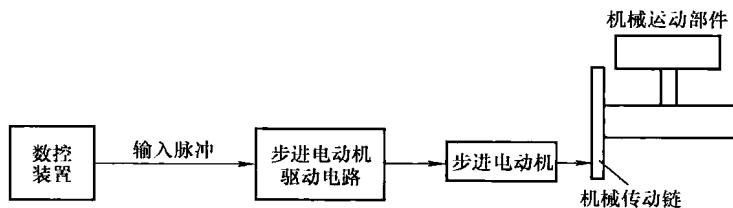


图 1-2 开环控制系统

2. 半闭环控制系统

半闭环控制系统是在伺服电动机轴上装有角位移检测装置, 通过检测伺服电动机的转角, 间接地将检测出运动部件的位移 (或角位移) 反馈给数控装置的比较器, 比较器与输入指令值进行比较计算, 数控装置根据其计算的差值来控制运动部件的移动, 从而部分消除传动系统传动链的传动误差, 如图 1-3 所示。其特点是精度及稳定性较高, 价格适中, 调试维修也较容易。

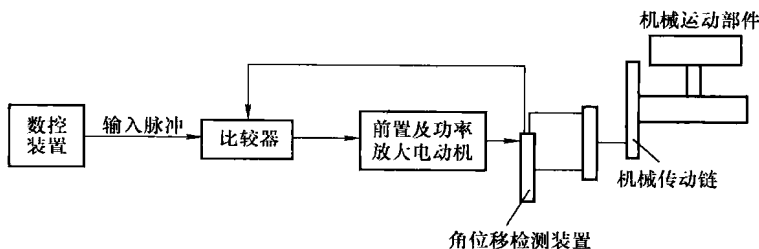


图 1-3 半闭环控制系统

3. 闭环控制系统

闭环控制系统是在机床最终的运动部件的相应位置直接安装直线式或回转式检测装置,

将直接测量到的位移或角位移反馈到数控装置的比较器中与输入指令位移量进行比较,用差值控制运动部件,使运动部件严格按实际需要的位移量运动,如图1-4所示。闭环控制系统的运动精度主要取决于检测装置的精度,而与机械传动链的误差无关,因此其特点是加工精度很高,但调试维修比较复杂,成本较高。

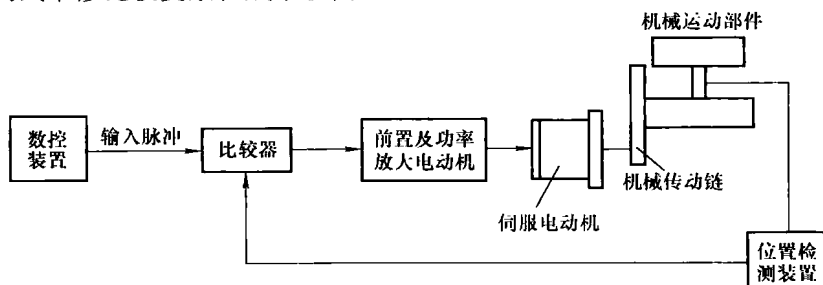


图 1-4 闭环控制系统

1.4.4 按数控系统的功能水平分类

按机床数控系统功能水平的不同,在我国通常分为低档、中档和高档数控机床。常用功能水平评定指标见表1-1。

表 1-1 高、中、低档数控系统功能水平评定指标

功能水平	低 档	中 档	高 档
分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/(m/min)	<15	15~24	>24
联动轴数	2~3	2~4	5轴或5轴以上
伺服类型	步进电动机,开环控制	直、交流伺服电动机, 半闭环控制	直、交流伺服电动机, 闭环控制
通信能力	无	RS232 或 DNC	RS232、DNC、MAP
主 CPU	8 位	16 位或 32 位	32 位及以上
显示功能	数码管或简单显示器	图形显示器及人机 对话功能	三维图显、图形编程、 自诊断

1.5 数控机床的应用范围及特点

1.5.1 数控机床的应用范围

数控机床具有普通机床所不具备的许多优点。随着数控技术的不断发展和提高,数控机床的应用范围也在不断扩大。尽管如此,由于经济、价格、技术等方面原因,目前数控机床还不能完全代替普通机床。数控机床比较适宜加工以下类型的零件:

- 1) 单件及批量小而又多次重复生产的零件。
- 2) 几何形状复杂、加工精度要求较高的零件。
- 3) 价格昂贵的零件。
- 4) 需要频繁改型设计的零件。
- 5) 生产周期短的急需零件。
- 6) 需要多工序进行加工的零件。

1.5.2 数控机床的加工特点

数控机床是生产工艺过程自动化的重要设备，与传统的加工方法相比，数控加工具有以下特点（优、缺点）：

- 1) 适应性强，特别适合单件小批量复杂零件加工。
- 2) 零件加工精度高，产品质量稳定。
- 3) 自动化程度高，劳动条件好。
- 4) 生产准备周期短。
- 5) 加工生产率高，经济效益好。
- 6) 易于建立计算机通信网络，有利于实现生产管理现代化。
- 7) 设备投资大，使用费用高。
- 8) 生产准备工作复杂，对操作者的技能水平和管理人员的素质要求较高。
- 9) 设备维护修理困难，修理成本高。

1.6 数控机床安全操作规程及日常维护

1.6.1 数控机床安全操作规程

1. 一般注意事项

- 1) 操作人员必须穿戴好工作服、工作帽与安全鞋。不得穿戴有危险性的服饰。
- 2) 机床周围环境要经常清理，保持整洁。
- 3) 机床和控制面板保持清洁，不得取下防护罩而开动机床。经常清洁过滤器、风道及冷却风扇等通风散热处。
- 4) 经常检查主轴箱与伺服单元各部位紧固螺钉及紧固件是否松动；检查系统内外电缆及接插件要完好，不得松动；各限位开关与挡块等不得松动或移位。

2. 机床起动时的注意事项

- 1) 熟悉机床紧急停机的方法与机床的操作顺序。
- 2) 安装好刀具与工件后，要对各坐标数据和夹紧状况进行复查，以防止碰撞事故。
- 3) 确认运转程序与刀具加工顺序一致。
- 4) 检查润滑油箱、齿轮箱内油量情况。
- 5) 检查尾座、刀架和工作台等应该停放在合理位置。

在完成上述各项检查，并确定准确无误后，方可起动机床。

3. 调整程序时的注意事项

- 1) 检查所选刀具, 确保使用刀具与程序刀具一致。
- 2) 不得进行超过机床加工能力的作业。
- 3) 进行刀具调整和内部清理要在机床停机状态下进行。
- 4) 确认刀具在换刀过程中不与其他部位发生碰撞。
- 5) 用过的刀具或工具不得放在机床工作台上, 尤其不能放在导轨上。
- 6) 调整好程序后, 必需再次检查。确认无误后, 方可实施加工。

4. 机床运转中的注意事项

1) 机床起动后, 在自动连续运转前, 必须先监视其运转状态的平稳性、有无异常。对试加工样件更要注意, 右(左)手控制修调开关, 以控制机床运行速率, 发现问题及时按下程序停止按钮, 以确保加工安全, 绝不允许随意离开岗位。

2) 确认切削液输出畅通, 流量充足, 浇注位置正确。

3) 机床运转时, 不得进入机床进行测量、调整、清理及擦拭等工作, 这些操作必须停机进行。

4) 手不得靠近旋转的刀具或工件。

5. 一旦出现故障时的注意事项

发生故障时, 除非故障危及人身安全需要紧急断电外, 不要立即关断整机电源, 而是按下急停按钮, 系统在不断电的情况下, 保留故障现场, 从而保留 CNC 自诊断的内容以供分析。注意记录显示器上显示的故障出现时的工作方式、运转状况、坐标位置、程序段、报警信息以及各种误差检查结果等。

1.6.2 数控机床的日常维护

1) 按机床和系统使用说明书的要求正确、合理地使用设备。并按要求进行日常维护工作, 有些部位需要每天清理, 有些部件需要定时加油和定期更换。

2) 防止数控装置过热。应经常检查数控装置上各冷却系统的工作是否正常。视车间环境状况, 每半年或一个季度检查清扫一次。

3) 定时监视数控系统的电网电压。数控系统允许的电网电压范围一般在额定值的 85% ~ 110%。如果超出此范围, 会造成重要电子部件损坏。因此, 要经常注意电网电压的波动。

4) 定期检查和更换直流电动机电刷。数控车床、数控铣床、加工中心等, 应每年检查一次。

5) 防止灰尘进入数控装置内。除了进行必要的检修外, 应尽量减少开电气柜门的次数。对电火花加工数控设备, 更应注意防止外部金属粉尘进入数控柜内部。

6) 存储器用电池应定期检查和更换。数控装置中部分 COMS 存储器中的数据在断电时靠电池供电保持, 当电池电压下降至一定值时就会造成数据丢失。因此, 当出现电池电压报警时, 应及时更换电池。更换电池时一般要在数控系统通电状态下进行, 这样才不会造成数据丢失。

7) 数控系统长期不用时的维护。当数控机床长期闲置不用时, 也应定期对数控系统进行维护保养。应经常给数控系统通电, 并让机床各转动、移动部件空运行一定时间。在空气湿度很大的雨季应该天天通电, 利用电器元件本身发出的热量驱走数控柜内的潮气, 保证电