



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

数控加工技术

◎李养良 刘良文 主 编



➤ 基于教学实践、工程实践及教学改革启示

➤ 结合工程教育，突出实践性、综合性与创新性

➤ 强化应用分析，配有大量实例讲解和习题



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

数控加工技术

李养良 刘良文 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从数控加工技术应用角度出发,系统地介绍了数控(CNC)系统、数控加工工艺、数控加工编程的基础知识,重点阐述了数控机床原理、数控加工工艺与工装、加工程序指令及编程方法,并给出了典型零件的加工程序编制实例。此外,本书以培养工程实践能力为目标,结合案例叙述了计算机辅助编程技术和数字化坐标测量技术。使读者在学习过程中,能够体会本书围绕产品的生产流程而展开的知识编排,从而更好地培养读者的工程实践能力和系统工程观。

本书特点:一是全书宗旨明确,紧密围绕数控加工技术这一主题展开;二是从工程应用出发,将数字化测量技术有机地融入数控加工技术;三是取材新颖、实例丰富、构思科学、图文并茂、注重实用。

本书可作为高等院校机械工程类专业的教材,也可作为其他相近工程类专业的参考用书,还可供各工矿企业中从事机床数控加工技术的工程技术人员、研究人员参考。

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

数控加工技术 / 李养良, 刘良文主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.1

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 978-7-121-27623-1

I. ①数… II. ①李… ②刘… III. ①数控机床—加工—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 281509 号

策划编辑: 郭穗娟 特约编辑: 刘丽丽

责任编辑: 郭穗娟

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

装 订: 三河市兴达印务有限公司

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: 19.25 字数: 493 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 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 zltz@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

本书根据教育部实施的《卓越工程师教育培养计划》中关于“课程体系和教学内容改革”的相关规定与普通高等学校数控加工技术教学的基本要求，以培养工程师后备人才为目的，按照课程教学规范的核心知识体系而编写。

本书根据编者长期的教学实践、工程实践及由此引发的教学改革思考，遵循系统论和建构主义等学习观、教学观，结合工程教育的规律而编写，突出工科课程的实践性、综合性与创新性。

本书具有以下特点。

(1) 在知识节点上，从工程的视角，按照产品从设计、制造到检验、安装调试的生长过程，增加了数控检测知识模块，将传统的因学科划分而割裂的知识与实践或产品生长周期统一起来。在传统教学的内容中引入产品设计与制造的整体观，培养读者的系统设计思想，激发读者的创新思维。

(2) 在叙述方式上，应用框架式叙述学科概貌，采用应用案例式展现技术细节。尽量以图表先行，辅之文字以达到宏观把握、微观清晰的目的；增加相关研究内容的发展趋势介绍，点缀相关的科技历史和文化背景知识，提高可读性，增加趣味性，开阔读者的眼界。

(3) 本书内容强化应用分析，配有大量实例讲解和习题与思考，以事统理，促使读者将理论与实践结合起来，既知其然，又知其所以然。

本书由九江学院李养良和刘良文主编。编写分工如下：李养良编写第1章；邹传平编写第2、4章；江卓达编写第3、5章；刘良文编写第6、7章。本书由李养良统稿并做了大量的修改工作，刘良文负责全部稿件的格式统一。中船九江科技研发中心王有富高工和江西制氧有限公司段兴荣高工审阅了本书，提出了许多宝贵意见，编者对此深表感谢。

本书中部分内容参照了相关文献，恕不能一一列举，谨对参考文献中的各位作者表示感谢！电子工业出版社郭穗娟编辑及其他人员为本书的出版与提高质量投入了大量劳动。在此一并致以衷心的感谢。

书中不足和欠妥之处，衷心期待读者的批评指正。

编 者

2015年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控技术概述	1
1.1.1 机床数控技术的组成	1
1.1.2 数控加工零件的过程	4
1.1.3 数控机床的特点与分类	5
1.1.4 按运动控制方式分类	7
1.1.5 按伺服系统类型分类	8
1.1.6 按功能水平分类	9
1.1.7 按工艺方法分类	10
1.2 数控技术的发展趋势	10
习题	14
第 2 章 计算机数控 (CNC) 系统	15
2.1 CNC 系统的组成与工作原理	15
2.1.1 CNC 系统的组成	15
2.1.2 CNC 系统的功能	15
2.1.3 CNC 系统的一般工作过程	17
2.2 CNC 系统的硬件结构	19
2.2.1 CNC 系统的硬件构成特点	19
2.3 CNC 系统的软件结构	23
2.3.1 CNC 装置软硬件的界面	23
2.3.2 CNC 系统控制软件的结构特点	23
2.3.3 常规 CNC 系统的软件结构	26
2.4 计算机数控中的可编程控制器	31
2.4.1 数控机床上的两类控制信息	31
2.4.2 可编程控制器及其工作原理	32
2.5 开放式数控系统的结构及其特点	37
2.5.1 开放式数控系统所具有的主要特点	38
2.5.2 基于 Linux 的开放式结构数控系统	40
习题	42
第 3 章 数控机床加工工艺与使用	43
3.1 数控加工的工艺特点	43
3.1.1 数控加工工艺概述	43
3.1.2 数控加工工艺特点	43
3.1.3 数控加工工序卡	44

3.2	数控机床用刀具	46
3.2.1	刀具材料及其选用	46
3.2.2	数控机床刀具的种类及特点	49
3.2.3	可转位刀片及其代码	52
3.2.4	数控刀具的选择	54
3.3	数控机床的使用	55
3.3.1	数控机床的选用	55
3.3.2	数控机床的安装和调试	61
	习题	62
第4章	零件加工程序的编制	63
4.1	程序编制与手工编程	63
4.1.1	程序编制的一般步骤与方法	63
4.1.2	自动编程 (APT 语言)	65
4.1.3	CAD/CAM	65
4.1.4	数控机床编程基础知识	65
4.2	数控机床的坐标系	66
4.2.1	数控机床坐标系	66
4.2.2	工件坐标系	69
4.2.3	数控编程的特征点	69
4.3	常用编程指令及程序结构	72
4.3.1	程序结构	72
4.3.2	基本指令	77
4.3.3	固定循环指令	80
4.4	子程序、宏指令与固定循环指令	81
4.4.1	子程序调用 M98 及从程序返回 M99	81
4.4.2	宏指令编程	82
4.4.3	循环指令	84
4.5	编程实例	89
	习题	98
第5章	典型零件数控编程与加工	100
5.1	圆柱圆锥面零件	100
5.1.1	数控车床编程的基础知识	100
5.1.2	数控车床编程的工艺知识	106
5.1.3	综合实训	116
5.2	复合形状零件	120
5.2.1	复合形状零件加工的相关知识	120
5.2.2	综合实训	133
5.3	螺纹	141
5.3.1	螺纹加工的相关知识	141
5.3.2	综合实训	146

5.4	平面内外腔轮廓类零件	149
5.4.1	数控铣床加工的基本知识	149
5.4.2	综合实训目的	175
5.4.3	实训内容	175
5.5	曲面凸凹件类零件	178
5.5.1	基础知识	178
5.5.2	综合实训	201
5.6	箱体类零件	205
5.6.1	箱体类零件数控加工的相关知识简介	205
5.6.2	综合实训	205
	习题	212
第 6 章	图形交互式自动编程	215
6.1	计算机自动编程介绍	215
6.1.1	自动编程的现状与分析	216
6.1.2	数控加工图形自动编程系统的基本功能及特点	217
6.1.3	CAD/CAM 集成数控编程系统的原理与组成	218
6.2	Creo 及其零件设计功能介绍	219
6.2.1	Creo 简介	219
6.2.2	Cero Parametric 的界面特色	221
6.2.3	Creo 3 造型与加工简介	224
6.2.4	模型范例	226
6.3	Creo 数控加工基本概念	235
6.3.1	Creo 的数控加工流程	235
6.3.2	加工操作界面	236
6.3.3	数控加工实例	238
6.4	Creo 数控加工后置处理简介	257
6.4.1	NC Post 简介	257
6.4.2	几个重要概念	258
	习题	261
第 7 章	三坐标测量机及其应用	262
7.1	概述	262
7.1.1	基本术语定义	263
7.1.2	坐标测量机的发展历史	265
7.1.3	坐标测量发展趋势	267
7.1.4	坐标测量机发展的意义和作用	268
7.2	三坐标测量机的构成	269
7.2.1	三坐标测量机的组成	269
7.2.2	三坐标测量机的机械结构	270
7.2.3	结构形式	270
7.2.4	工作台	271

7.2.5	传动机构	272
7.2.6	导轨	272
7.3	三坐标测量机控制系统	273
7.4	三坐标测量机的测量系统	274
7.4.1	标尺系统	274
7.4.2	测头系统	275
7.4.3	测头附件	276
7.5	三坐标测量机的软件系统	277
7.6	坐标测量过程与实例	278
7.6.1	坐标测量流程	279
7.6.2	WinMeil 软件使用入门	279
7.6.3	零件程序	280
7.6.4	WinMeil 软件的操作方法	281
7.6.5	测量几何元素	282
7.6.6	坐标参考系	286
7.6.7	测量元素间的计算与相关性	288
7.6.8	零件测量案例	289
	习题	298
	参考文献	299

第1章 绪 论

1.1 数控技术概述

数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术。在现代机械制造领域中，数控技术已成为核心技术之一，是实现柔性制造（Flexible Manufacturing, FM）、计算机集成制造（Computer Integrated Manufacturing, CIM）、工厂自动化（Factory Automation, FA）的重要基础技术之一。数控技术较早地应用于机床装备中，本书中的数控技术具体指机床数控技术。

国家标准（GB8129—87）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”，简称数控（Numerical Control, NC）。数控机床就是采用了数控技术的机床。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做了如下定义：“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。”换言之，数控机床是一种采用计算机，利用数字信息进行控制的高效、能自动化加工的机床，它能够按照机床规定的数字化代码，把各种机械位移量、工艺参数、辅助功能（如刀具交换、冷却液开与关等）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，数控机床是一种灵活性很强、技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备。

随着自动控制理论、电子技术、计算机技术、精密测量技术和机械制造技术的进一步发展，数控技术正向高速度、高精度、智能化、开放型，以及高可靠性等方向迅速发展。

1.1.1 机床数控技术的组成

用数控机床加工零件，是按照事先编制好的加工程序自动地对零件进行加工。它是把零件的加工工艺路线、刀具运动轨迹、切削参数等，按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序单，再把程序单的内容输入到数控机床的数控装置中，从而控制机床加工零件。数控加工的过程如图 1-1 所示。

数控机床由数控系统和机床本体两大部分组成，而数控系统又由输入/输出设备、计算机数控装置（CNC）、伺服系统、辅助控制装置等部分组成。图 1-2 所示为数控机床的组成示意。

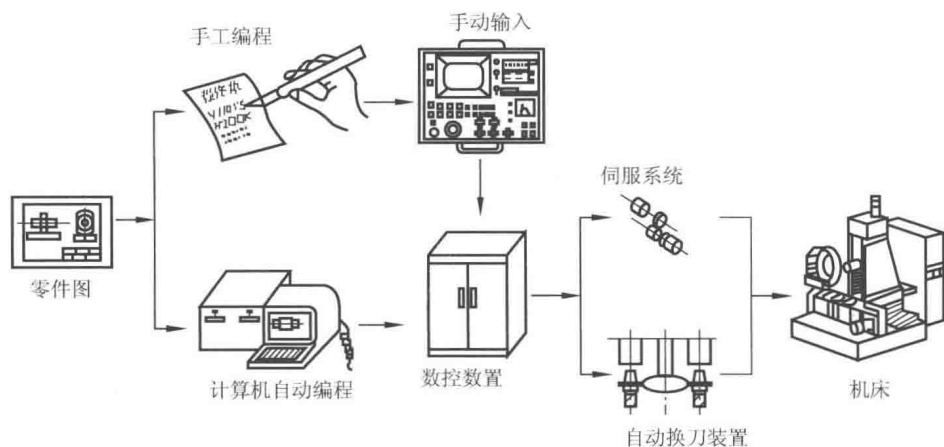


图 1-1 数控加工过程

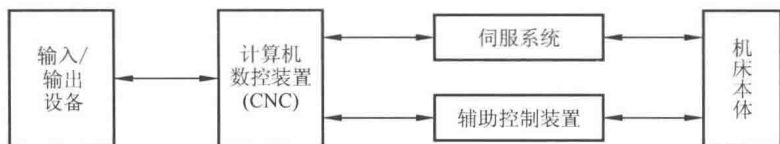


图 1-2 数控机床的组成示意

1. 输入/输出设备

输入/输出设备的作用是输入程序，显示命令与图形，打印数据等。数控程序的输入是通过控制介质来实现的，目前采用较多的方法有软盘、通信接口和 MDI 方式。MDI 即手动输入方式，它是利用数控机床控制面板上的键盘，将编写好的程序直接输入到数控系统中，并可通过显示器显示有关内容。

随着计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术的发展，有些数控机床可利用 CAD/CAM 软件在通用计算机上编程，然后通过计算机与数控机床之间的通信，将程序与数据直接传送给数控装置。

2. 计算机数控装置 (CNC)

计算机数控装置是数控机床的“指挥中心”。它的功能是接收外部输入的加工程序和各种控制命令，识别这些程序和命令并进行运算处理，然后输出控制命令。在这些控制指令中，除了送给伺服系统的速度和位移指令外，还有送给辅助控制装置的机床辅助动作指令。现在的数控机床一般都采用微型计算机作为数控装置，这种数控装置称为计算机数控 (CNC) 装置。CNC 装置是数控系统的核心。在一般的数控加工过程中，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。

CNC 装置通过编译和执行内存中的数控加工程序来实现多种功能。CNC 装置一般具有以下基本功能：坐标控制 (XYZAB 代码) 功能、主轴转速 (S 代码) 功能、准备功能 (G

代码)、辅助功能(M代码)、刀具(T代码)功能、进给(F代码)功能,以及插补功能、自诊断功能等。有些功能可以根据机床的特点和用途进行选择,如固定循环功能、刀具半径补偿功能、通信功能、特殊的准备功能(G代码)、人机对话编程功能、图形显示功能等。不同类型、不同档次的数控机床,其CNC装置的功能有很大的不同。CNC系统制造厂商或供应商会向用户提供详细的CNC功能和各功能的具体说明书。详细内容将在后续各章介绍。

3. 伺服系统

数控机床的伺服驱动系统分为主轴伺服驱动系统和进给伺服驱动系统。主轴伺服驱动系统用于控制机床主轴的旋转运动,并为机床主轴提供驱动功率和所需的切削力。进给伺服驱动系统是用于机床工作台或刀架坐标的控制系统,控制机床各坐标轴的切削进给运动,并提供切削过程所需的转矩。伺服驱动装置又称为伺服系统,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通过调解、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分为主轴驱动单元(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,以及它们相应的伺服电机等。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、直线伺服系统。步进电机伺服系统比较简单,价格又低廉,所以在经济型数控车床、数控铣床、数控线切割中仍有使用;直流伺服系统从20世纪70年代到80年代中期,在数控机床获得了广泛的应用。但由于直流伺服系统使用机械(电刷、换向器)换向,维护工作量大。20世纪80年代后,由于交流伺服电动机的材料、结构、控制理论和方法均有突破性的进展,电力电子器件的发展又为控制方法的实现创造了条件,使得交流伺服电动机驱动装置发展很快,目前正在取代直流伺服系统。该系统的最大优点是电机结构简单、不需要维护、适用于在恶劣环境下工作。此外,交流伺服电动机还具有动态响应好、转速高和容量大等优点。当今,在交流伺服系统中,除了驱动级外,电流环、速度环和位置环可以全部采用数字化控制。伺服系统的控制模型、数控功能、静动态补偿、前馈控制、最优控制、自学习功能等均由微处理器及其控制软件高速实时地实现,使得其性能更加优越,已达到和超过直流伺服系统。直线伺服系统是一种新型高速、高精度的伺服机构,已开始数控机床中使用。

每一坐标轴方向的进给运动部件配备一套进给伺服驱动系统。相对于数控装置发出的每个脉冲信号,机床的进给运动部件都有一个相应的位移量,此位移量称为脉冲当量,又称为最小设定单位,其值越小,加工精度越高。

4. 辅助控制装置

数控机床除对各坐标轴方向的进给运动部件进行速度和位置控制外,还要完成程序中的辅助功能所规定的动作,如主轴电机的启停和变速、刀具的选择和交换、冷却泵的开关、工件的装夹、分度工作台的转位等。由于可编程序控制器(PLC)具有响应快、性能可靠、易于编程和修改等优点,并可直接驱动机床电器。因此,目前辅助控制装置普遍采用PLC控制。

5. 机床本体

机床本体即数控机床的机械部分,主要包括主动装置、进给传动装置、床身、工作台等。与普通机床相比,数控机床的传动装置简单,而机床的刚度和传动精度较高。机床

本体主要由床身、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。数控加工是自动控制的，不能像普通机床那样由人工进行调整、补偿。数控机床的主运动、进给运动都由单独的伺服电动机驱动，所以传动链短、结构较简单。为保证数控机床的快速响应特性，数控机床普遍采用精密滚珠丝杠和直线滚动导轨副。为保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工，机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、抗变形性能、耐磨性。除此之外，数控机床还配备有冷却、自动排屑、对刀、测量等配套装置，以利于更大地发挥数控机床的功能，如图 1-3 所示。

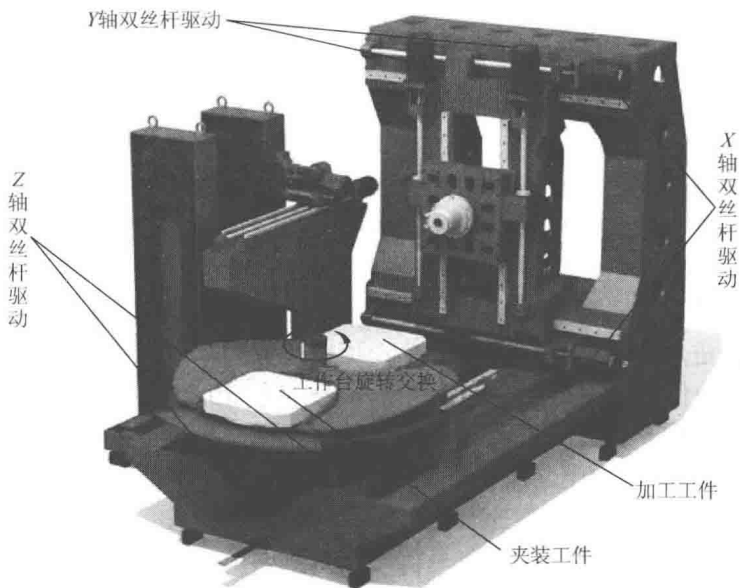


图 1-3 机床本体的组成

1.1.2 数控加工零件的过程

在数控机床上加工零件时，要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工路线、工艺参数和刀具数据，再按数控机床编程手册的有关规定编写零件数控加工程序，然后通过输入装置将数控加工程序输入到数控系统，在数控系统控制软件的支持下，经过处理与计算后，发出相应的控制指令，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，从而进行零件的切削加工。数控机床加工零件的过程如图 1-4 所示。

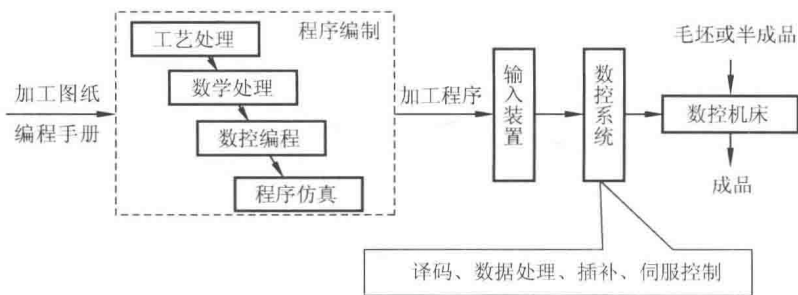


图 1-4 数控机床的工作过程

在数控机床上加工零件的整个工作过程如下。

(1) 零件图工艺处理。拿到零件加工图样后,应根据图样,对工件的形状、尺寸、位置关系、技术要求进行分析,然后确定合理的加工方案、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数、对刀点、换刀点,同时还要考虑所用数控机床的指令功能。

(2) 数学处理。在工艺处理后,应根据加工路线、图样上的几何尺寸,计算刀具中心运动轨迹,获得刀位数据。如果数控系统有刀具补偿功能,则需要计算出轮廓轨迹上的坐标值。

(3) 数控编程。根据加工路线、工艺参数、刀位数据及数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,编写数控加工程序。程序编完后,可存放在控制介质(如软盘、磁带)上。

(4) 程序输入。数控加工程序通过输入装置输入到数控系统。目前采用的输入方法主要有软驱、USB 接口、RS-232C 接口、MDI 手动输入、分布式数字控制(Direct Numerical Control, DNC)接口、网络接口等。数控系统一般有两种不同的输入工作方式:一种是边输入边加工,DNC 即属于此类工作方式;另一种是一次将零件数控加工程序输入到计算机内部的存储器,加工时再由存储器一段一段地往外读出,软驱、USB 接口即属于此类工作方式。

(5) 译码。输入的程序中含有零件的轮廓信息(如直线的起点和终点坐标;圆弧的起点、终点、圆心坐标;孔的中心坐标、孔的深度等)、切削用量(进给速度、主轴转速)、辅助信息(换刀、冷却液开与关、主轴顺转与逆转等)。数控系统以一个程序段为单位,按照一定的语法规则把数控程序解释、翻译成计算机内部能识别的数据格式,并以一定的数据格式存放在指定的内存区内。在译码的同时还完成对程序段的语法检查,一旦有错,立即给出报警信息。

(6) 数据处理。数据处理程序一般包括刀具补偿、速度计算及辅助功能的处理程序。刀具补偿有刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的任务是根据刀具半径补偿值和零件轮廓轨迹计算出刀具中心轨迹。刀具长度补偿的任务是根据刀具长度补偿值和程序值计算出刀具轴向实际移动值。速度计算是根据程序中所给的合成进给速度计算出各坐标轴运动方向的分速度。辅助功能的处理主要是完成指令的识别、存储、设标志,这些指令大都是开关量信号,现代数控机床可由 PLC 控制。

(7) 插补。数控加工程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹,而刀具从起点沿直线或圆弧运动轨迹走向终点的过程则要通过数控系统的插补软件来控制。插补的任务就是通过插补计算程序,根据程序规定的进给速度要求,完成在轮廓起点和终点之间的中间点的坐标值计算,即数据点的密化工作。

(8) 伺服控制与加工。伺服系统接收插补运算后的脉冲指令信号或插补周期内的位置增量信号,经放大后驱动伺服电机,带动机床的执行部件运动,从而加工出零件。

1.1.3 数控机床的特点与分类

1. 数控机床的特点

数控机床是一种高效、新型的自动化机床,具有广泛的应用前景。它与普通机床相比具有以下特点。

1) 适应性、灵活性好

数控机床由于采用数控加工程序控制,当加工零件改变时,只要改变数控加工程序,

便可实现对新零件的自动化加工，因此，能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求，解决了多品种、单件小批量生产的自动化问题。满足飞机、汽车、造船、动力设备、国防军工等制造部门复杂形状零件和型面零件的加工需要。

2) 精度高、质量稳定

数控机床是按照预定的程序自动加工，不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的失误或误差；数控机床本身的刚度高、精度好，并且精度保持性较好，这更有利于零件加工质量的稳定；还可以利用软件进行误差补偿和校正，也使数控加工具有较高的精度。

3) 生产效率高

数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速，且调速范围大，可选择合理的切削速度和进给速度；可以进行在线检测，避免数控机床加工中的停机时间；可采用自动换刀、自动交换工作台，减少了换刀时间；在加工同时可以进行工件装卸，并且一次装夹可实现多面和多工序加工，减少工件装夹、对刀等辅助时间；数控加工工序集中，可减少零件周转时间。因此，数控加工生产率较高，一般零件可以高出 3~4 倍，复杂零件可提高十几倍甚至几十倍。

4) 劳动强度低、劳动条件好

数控机床的操作者一般只需装卸零件、更换刀具、利用操作面板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。此外，数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置，操作者的劳动条件可得到很大改善。

5) 有利于现代化生产与管理

采用数控机床加工能方便、精确计算零件的加工时间，能精确计算生产和加工费用，有利于生产过程的科学管理和信息化管理。数控机床是 DNC、FMS、CIMS 等先进制造系统的基础，便于制造系统的集成。

6) 使用、维护技术要求高

数控机床是综合多学科、新技术的产物，机床价格高，设备一次性投资大，相应地，机床的操作和维护要求较高。因此，为保证数控加工的综合经济效益，要求机床的使用者和维修人员应具有较高的专业素质。

2. 数控机床的分类

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，如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床的分类

分类方法	数控机床类型		
	按运动控制方式分类	点位控制数控机床	直线控制数控机床
按伺服系统类型分类	开环数控系统	半闭环数控系统	闭环数控系统
按功能水平分类	经济型数控机床	中档型数控机床	高档型数控机床
按工艺方法分类	金属切削数控机床	金属成形数控机床	特种加工数控机床

1.1.4 按运动控制方式分类

根据数控机床运动控制方式的不同,可将数控机床分成点位控制、直线控制和轮廓控制三种类型,如图 1-5 所示。

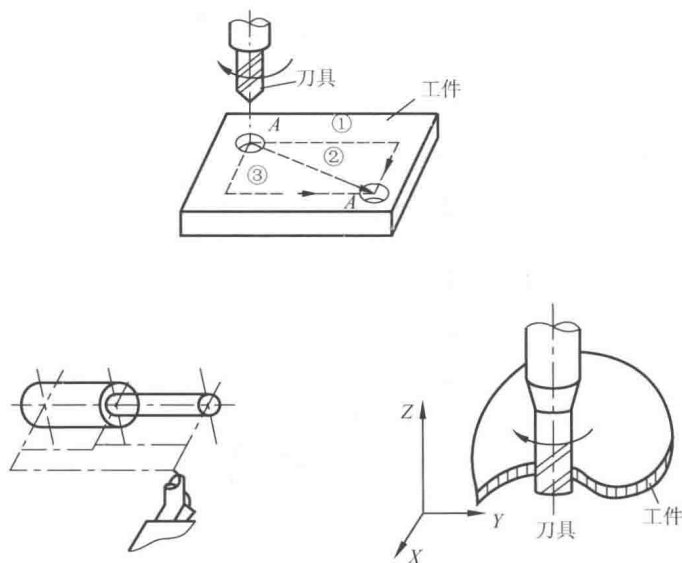


图 1-5 按运动控制分类

(1) 点位控制数控机床。一些孔加工数控机床,如数控钻床、数控冲床等,数控系统只控制刀具从一点到另一点的精确定位,从一个孔到另一个孔的移动轨迹则无严格要求。在机床移动部件的移动过程中,不进行切削加工。具有这种运动控制的机床称为点位控制数控机床。

(2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床不仅要求控制点到点的精确定位,而且要求机床工作台或刀具(刀架)以给定的进给速度,沿平行于坐标轴的方向或与坐标轴呈 45° 角的方向进行直线移动和切削加工。目前具有这种运动控制的数控机床很少。

(3) 轮廓控制数控机床。对一些数控机床,如数控铣床、加工中心等,要求能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制,使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓要求。具有这种运动控制的机床称为轮廓控制数控机床。该类机床在加工过程中,每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格的不间断控制。

对于轮廓控制数控机床,根据同时控制坐标轴的数目可分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴和五轴联动。两轴联动同时控制两个坐标轴实现二维直线、圆弧、曲线的轨迹控制。两轴半联动除了控制两个坐标轴联动外,还同时控制第三坐标轴做周期性进给运动,可以实现简单曲面的轨迹控制。三轴联动同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动,实现曲面的轨迹控制。四轴或五轴联动除了控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴外,还能同时控制一个或两个回转坐标轴,如工作台的旋转、刀具的摆动等,从而实现复杂曲面的轨迹控制。图 1-6 所示为 2~5 坐标联动加工示意图。

由于加工中心同时具有点位和轮廓控制功能,直线控制的数控机床又很少,因此,按上述运动控制方式的分类方法在目前的数控机床之间很难给出明确的界限。

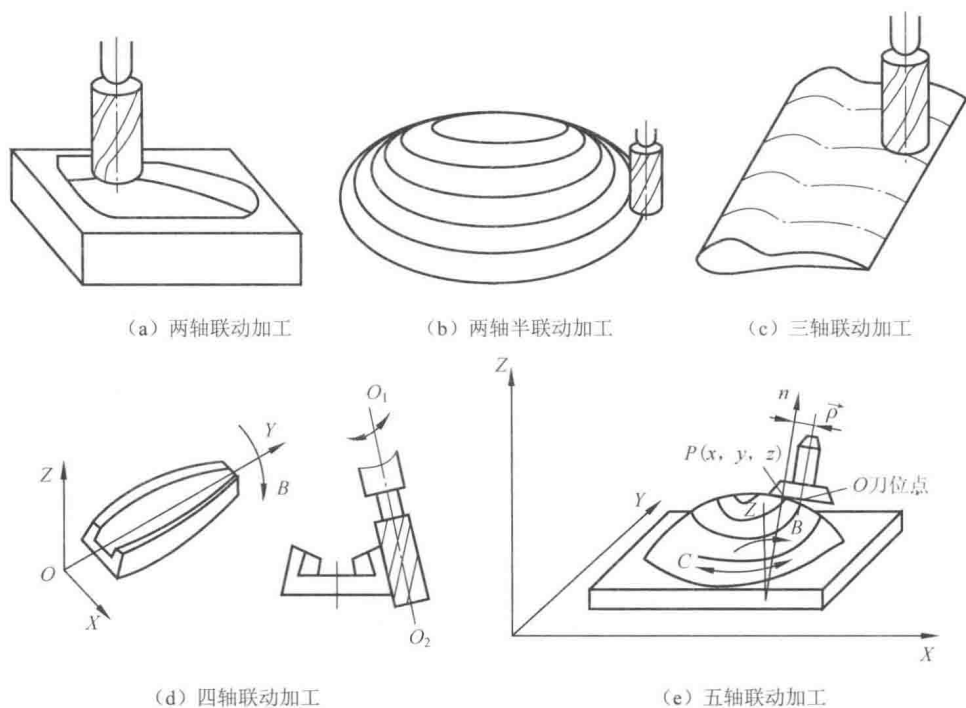


图 1-6 2~5 坐标联动加工示意

1.1.5 按伺服系统类型分类

根据数控机床伺服驱动控制方式的不同,可将数控机床分成开环控制、闭环控制和半闭环控制三种类型,如图 1-7 所示。

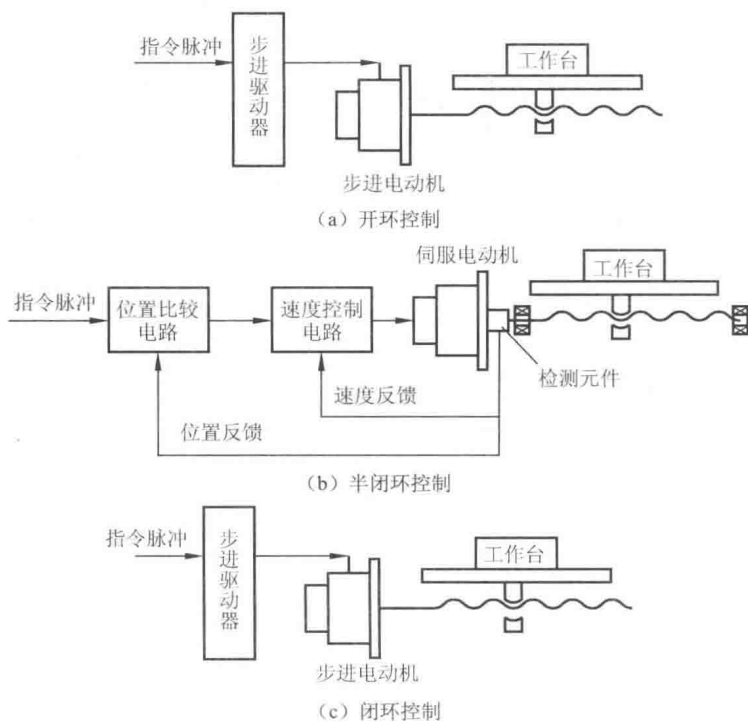


图 1-7 伺服日系统控制方式