

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

机床数控技术

主编 宁立伟



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

机床数控技术

Jichuang Shukong Jishu



高等教育出版社·北京

HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目的研究成果之一。

本书系统介绍了数控机床的基本知识、结构，数控装置和伺服系统，数控加工工艺基础，数控车床和铣床的编程及高速切削技术，数控机床的选用、验收、调试与维护等。在编写过程中，遵从“保证基础，确保后劲；突出特色，强化应用”的编写原则，从应用型本科教育的实际出发，以培养应用型本科人才为目的，在取材上力求新颖，体现应用技术，全面介绍数控机床的有关原理和应用知识。

本书可作为普通高等院校机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程等专业教材，也可供高职高专、成人与民办高校相关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/宁立伟主编. —北京: 高等教育出版社, 2010. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 028067 - 8

I. 机… II. 宁… III. 数控机床 - 高等学校 - 教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 182125 号

策划编辑 宋 晓 责任编辑 李京平 封面设计 于文燕 责任绘图 尹 莉
版式设计 余 杨 责任校对 杨凤玲 责任印制 尤 静

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京铭成印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 1 092 1/16	版 次	2010 年 1 月第 1 版
印 张	14.75	印 次	2010 年 1 月第 1 次印刷
字 数	360 000	定 价	19.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28067 - 00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系，全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型人才工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高等学校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本书是教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目的研究成果之一，是根据机械类子课题的精神及教学改革的要求，由全国应用型本科机械学科教学协作组启动的第二轮51门机械类课程的配套教材之一。本书是按照机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程专业学生的培养目标和要求编写的，可作为应用型本科教育机械设计制造及其自动化专业、材料成型及控制工程专业用书。

本书系统介绍了数控机床的基本知识、结构，数控装置和伺服系统，数控加工工艺基础，数控车床和铣床的编程及高速切削技术，数控机床的选用、验收、调试与维护等。书中精选的编程实例对学生全面了解和掌握数控机床切削加工的工艺理论和数控编程技能有较大的帮助。

本书内容丰富、通俗易懂、实用性强；理论问题论述条理清晰，便于掌握；实例分析典型全面，接近生产实际，具有示范性，有利于学生应用能力的培养。

本书由湖南工程学院宁立伟任主编，湖南工程学院谢骥、扬州大学任皓任副主编，湖南工程学院邓奕、文彬，湖南工业大学刘忠伟等参加编写。其中第1、2章由谢骥编写，第3、7章由宁立伟编写，第4章由文彬编写，第5章由邓奕编写，第6章由任皓编写，第8章由刘忠伟编写。全书由宁立伟、谢骥负责统稿和定稿。本书由刘迎春教授审阅，他对本书提出了很多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平和经验所限，书中难免有欠妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编者电子邮箱：Ch19081@sohu.com。

编 者
2009年2月

目 录

第 1 章 数控机床的基本知识	1	2.4.1 数控车床的坐标系	31
1.1 数控机床概述	1	2.4.2 数控车床的编程要点	32
1.1.1 数控系统的概念	1	2.4.3 准备功能基本指令	32
1.1.2 数控机床简介	1	2.4.4 刀具补偿指令	36
1.1.3 数控加工的过程与特点	1	2.4.5 切削循环指令	39
1.1.4 数控机床的适用范围	2	2.4.6 数控车床编程实例	45
1.2 数控机床的分类与应用	3	2.5 加工中心程序编制	47
1.2.1 按机床运动的控制功能 分类	3	2.5.1 准备功能基本指令	47
1.2.2 按伺服系统的类型分类	4	2.5.2 刀具补偿指令	51
1.2.3 按数控系统的功能水平 分类	5	2.5.3 孔加工固定循环指令	55
1.2.4 按工艺用途分类	6	2.5.4 加工中心编程实例	60
1.3 机床数控技术的发展动向	6	思考与练习题	63
思考与练习题	7	第 3 章 自动编程技术基础	65
第 2 章 数控加工编程基础	8	3.1 自动编程基础	65
2.1 数控加工编程的基础知识	8	3.1.1 自动编程的基本原理	65
2.1.1 数控程序的编制方法及 步骤	8	3.1.2 自动编程的内容与步骤	65
2.1.2 程序的结构与格式	9	3.1.3 自动编程的主要特点	66
2.1.3 数控机床的坐标系	10	3.2 自动编程系统常用软件简介	67
2.2 数控机床加工工艺分析	11	3.3 CAM 系统实践——Mastercam	68
2.2.1 数控加工工艺特点	11	3.3.1 Mastercam 系统自动编程的 基本步骤	68
2.2.2 零件的安装方法	12	3.3.2 Mastercam 系统 CAM 功能的 特点	69
2.2.3 数控加工工序的划分	13	3.3.3 Mastercam 系统的相关 性及其应用	71
2.2.4 数控加工路线的确定	13	3.3.4 刀具路径检验	85
2.2.5 数控机床刀具系统	17	3.3.5 数控程序的质量	86
2.2.6 切削用量的确定	25	3.4 自动编程实例	87
2.2.7 数控加工工艺文件的编制	27	思考与练习题	93
2.3 常用准备功能和辅助功能指令	28	第 4 章 高速数控铣削加工技术	96
2.3.1 准备功能 G 代码	28	4.1 概述	96
2.3.2 辅助功能 M 代码	30	4.1.1 高速铣削的基本特征	96
2.4 数控车床程序编制	31	4.1.2 高速铣削的特点	97

4.2 高速铣削加工的应用	98	5.5.3 梯形图	133
4.2.1 高速加工的适应性	98	5.5.4 可编程控制器的工作过程	135
4.2.2 高速铣削工艺分析	100	思考与练习题	136
4.2.3 高速铣削方法	102	第6章 数控机床的伺服系统	137
4.3 高速铣削加工刀具的选用	103	6.1 概述	137
4.3.1 刀柄的选用	103	6.1.1 数控机床对伺服系统的 要求	137
4.3.2 刀具的选用	103	6.1.2 数控机床伺服驱动系统的 基本组成	137
4.4 高速加工对机床的特殊要求及 零传动理论	107	6.1.3 数控机床伺服驱动系统的 分类	138
4.4.1 高速加工对机床的特殊 要求	107	6.2 开环步进伺服系统	140
4.4.2 零传动理论	107	6.2.1 开环步进伺服系统的工作 原理	140
4.4.3 高速机床的主要组成部件	108	6.2.2 步进电机	140
思考与练习题	108	6.2.3 步进电机开环进给系统的 传动计算	145
第5章 计算机数控装置	110	6.2.4 步进电机的控制与驱动	146
5.1 计算机数控装置的硬件结构 与工作原理	110	6.3 数控机床的检测装置	151
5.1.1 计算机数控装置的组成	110	6.3.1 旋转变压器	152
5.1.2 单微处理机硬件结构	110	6.3.2 感应同步器	154
5.1.3 多微处理机硬件结构	112	6.3.3 光栅	156
5.1.4 开放式数控装置的体系 结构	114	6.3.4 脉冲编码器	158
5.2 数控系统的软件组成与结构 特点	116	6.4 闭环进给伺服系统	162
5.2.1 CNC 系统软件的组成	116	6.4.1 闭环伺服系统的执行元 件及其速度控制	162
5.2.2 CNC 装置的软件结构 特点	116	6.4.2 典型闭环进给伺服系统	170
5.3 运动轨迹的插补原理	118	6.5 进给运动控制参数的设置	175
5.3.1 概述	118	6.5.1 一般参数的设定	175
5.3.2 逐点比较插补	119	6.5.2 变增益位置控制的增益 设定	176
5.3.3 数据采样插补	124	6.5.3 升降速参数	176
5.4 刀具半径补偿	128	6.5.4 返回参考点参数	177
5.4.1 刀具半径补偿的基本概念	128	6.5.5 单向定位参数	177
5.4.2 B 功能刀具半径补偿计算	128	6.5.6 报警保护参数	178
5.4.3 C 功能刀具半径补偿计算	130	6.6 主轴驱动简介	178
5.5 辅助功能与可编程控制器	131	思考与练习题	178
5.5.1 概述	131	第7章 数控机床的结构	180
5.5.2 可编程控制器的结构	132		

7.1 数控机床的结构特点	180	第8章 数控机床的选用、验收、 调试与维护	206
7.2 数控机床主传动系统及主轴 部件	183	8.1 数控机床的选用	206
7.2.1 数控机床主传动系统的 特点	183	8.1.1 选用方法和原则	206
7.2.2 数控机床的主传动系统	184	8.1.2 数控设备订购前的准备 工作	209
7.2.3 数控机床的主轴部件	184	8.2 数控设备的安装、调试与验收	210
7.3 数控机床进给伺服系统	188	8.2.1 数控设备的安装	210
7.3.1 数控机床进给传动的特点	188	8.2.2 数控设备的调试	210
7.3.2 滚珠丝杠副	188	8.2.3 数控设备的验收	212
7.4 进给系统传动间隙的消除	193	8.3 数控设备的维护、保养	216
7.4.1 传动齿轮间隙的消除	193	8.3.1 数控设备的正确操作 与使用	216
7.4.2 键连接间隙的消除	194	8.3.2 数控设备的日常维护、 保养	216
7.5 回转工作台与导轨	195	8.3.3 数控设备的故障维修	218
7.5.1 回转工作台	195	思考与练习题	221
7.5.2 导轨	197	参考文献	222
7.6 数控机床的自动换刀装置	200	后记	223
7.7 数控加工用辅具	203		
思考与练习题	205		

第 1 章 数控机床的基本知识

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控系统的概念

数字控制(numerical control)技术简称数控(NC)技术,是用数字指令控制对象的一种自动控制技术。有早期使用的普通数控(NC)系统和目前广泛使用的计算机数控(computer numerical control,CNC)系统。采用数控技术的自动控制系统称为数控系统。装备了数控系统,能实现运动和加工过程自动控制的机床称为数控机床。随着生产的发展,数控技术已广泛应用于金属切削机床、三坐标测量机、工业机器人、数控雕刻机等机械设备上。

1.1.2 数控机床简介

数控机床起源于美国,1947年美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想,他们利用电子计算机对机翼加工路径进行了数据处理,并考虑刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到 $\pm 0.0015\text{ in}(0.0381\text{ mm})$ 。1952年帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作,成功研制出世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,它可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,拉开了数控加工技术的序幕。

数控系统已先后经历了两个阶段、六个时代的发展:电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器及基于PC机的通用CNC系统。前三代为第一阶段,称为普通数控系统(NC系统),主要由电路的硬件和连线组成,其特点是具有很多硬件电路和连接结点,电路复杂,可靠性不好。后三代为第二阶段,称为计算机数控系统(CNC系统),主要由计算机硬件和软件组成,其最突出的特点是利用存储器里的软件控制系统工作,这种系统容易扩展功能,柔性好,可靠性高。现在,开放式数控系统(open numerical control system,ONC系统)正得到快速发展和应用。

数控机床由程序、数控系统、伺服系统、检测反馈装置和机床主体组成,综合了计算机、自动控制、精密测量、机床制造及其配套技术的最新成果,成功地解决了现代产品多样化、零件形状复杂化、产品研制生产周期短、精度要求高的难题,是现代制造业的主流设备,也是关系国计民生和国防尖端建设的战略物资。

我国从1958年开始数控机床的研制工作,20世纪80年代开始批量生产数控系统。20世纪90年代,一些较高档次的五轴联动数控机床相继开发出来,并向高档数控机床发展。

1.1.3 数控加工的过程与特点

利用数控机床完成零件的数控加工过程如图1-1所示,其主要包括以下内容:

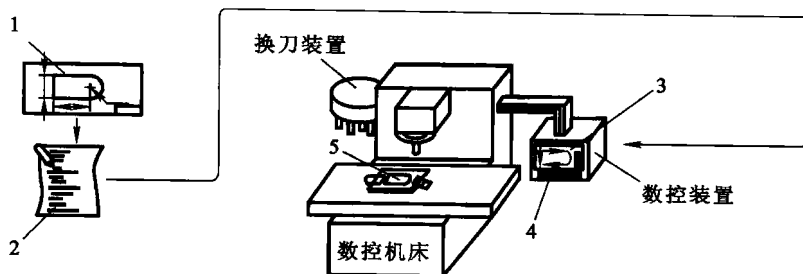


图 1-1 数控加工过程示意图

1—零件加工工艺分析；2—编写零件加工程序；3—向数控装置输入零件加工程序；4—刀具路径模拟；5—加工零件

- 1) 根据零件图样进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位置数据。
- 2) 手工编程或利用自动编程软件直接生成零件数控加工程序。
- 3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可通过数控机床操作面板输入；由自动编程软件生成的程序，通过计算机的串行口直接传输到数控机床。
- 4) 将输入传输到控制单元的加工程序，进行试运行、刀具路径模拟等。
- 5) 通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件的加工。

数控加工是采用数字信息对零件加工过程进行定义并控制机床进行自动运行的一种自动化加工方法，它具有以下几个方面的特点：

1) 具有复杂形状加工能力。复杂形状零件在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要地位，其加工质量直接影响整机产品的性能。

2) 高质量。数控加工是用数字程序控制实现自动加工，排除了人为误差因素，且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。

3) 高效率。与采用普通机床加工相比，采用数控加工一般可提高生产率 2~3 倍，在加工复杂零件时生产率可提高十几倍甚至几十倍。特别是五面体加工中心和柔性单元等设备，零件一次装夹后能完成几乎所有部位的加工，不仅可消除多次装夹引起的定位误差，且可大大减少加工辅助操作，使加工效率进一步提高。

4) 高柔性。只需改变零件程序即可适应不同品种的零件加工，且几乎不需要制造专用工装夹具，因此加工柔性好。

1.1.4 数控机床的适用范围

根据数控机床加工的特点可以看出，最适合数控机床加工的零件有：

- 1) 加工精度要求高、形状复杂、用通用机床无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量的零件。
- 2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。
- 3) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒型零件。
- 4) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铇、铰或攻螺纹等多工序的零件。

1.2 数控机床的分类与应用

数控机床的品种规格较多,从不同角度对其进行考查就有不同的分类方法,一般可根据其功能和结构,按以下原则进行分类。

1.2.1 按机床运动的控制功能分类

1. 点位控制数控机床

这类机床仅能实现刀具相对于工件从一点到另一点的精确定位运动,对点与点之间的运动轨迹不做控制要求,在运动过程中不进行任何加工,各坐标轴之间的运动是不相关联的,可以同时移动,也可以依次运动。为了实现快速精确的定位,两点间的移动一般是先快速移动,然后慢速趋近定位点,以确保定位精度,如图 1-2 所示。具有点位控制功能的数控机床主要有数控钻床、坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低,单纯采用点位控制的数控系统已不多见。

2. 直线控制数控机床

这类机床除了要求控制点与点之间的准确位置外,还需控制两相关点之间的移动速度和移动轨迹,一般是沿与坐标轴平行的方向作切削运动,如图 1-3 所示。具有直线控制功能的数控机床主要有某些简易数控车床、数控镗铣床等。同样,单纯采用直线控制的数控机床也不多见。

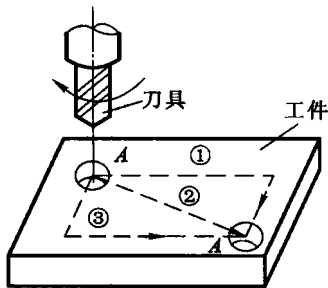


图 1-2 点位控制加工示意

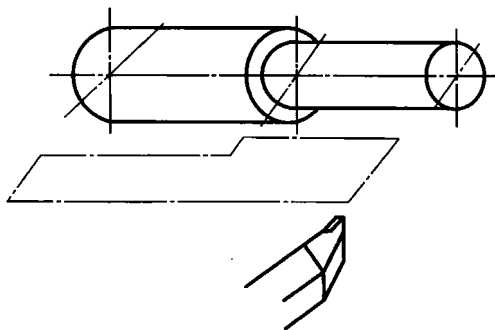


图 1-3 直线控制加工示意

3. 连续控制数控机床

连续控制数控机床也称为轮廓控制数控机床,能同时控制 2 个或 2 个以上坐标轴联动,使工件相对于刀具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。这就要求数控装置必须具有插补运算功能,控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。

具有连续控制功能的数控机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等用于加工曲线和曲面的机床,根据机床所控制的联动轴数不同,又可分为下面几种形式:

(1) 2 轴联动

主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面,如图 1-4 所示。

(2) 2.5 轴联动

主要用于 3 轴以上机床的控制,其中任意两根轴联动,第三根轴作周期性进给。图 1-5

所示为采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

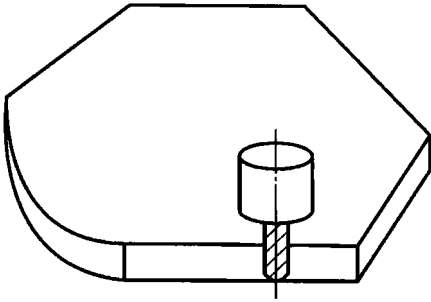


图 1-4 2 轴联动加工示意

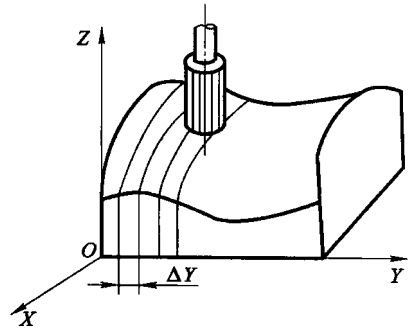


图 1-5 2.5 轴联动加工示意

(3) 3 轴联动

一般分两类，一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，多用于数控铣床和加工中心，图 1-6 所示为用球头铣刀铣切三维空间曲面；另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 中两个直线轴外，还同时控制绕某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴，如车削加工中心，除了实现纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴的联动外，还需同时控制绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

(4) 4 轴联动

同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，图 1-7 所示为同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

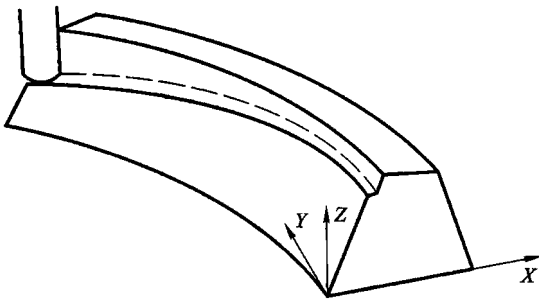


图 1-6 3 轴联动加工示意

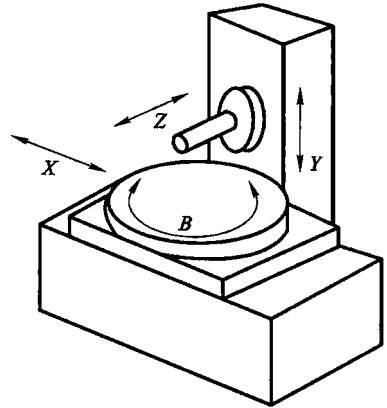


图 1-7 4 轴联动数控机床

(5) 5 轴联动

除同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外，还需同时控制绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标轴，如图 1-8 所示。

1.2.2 按伺服系统的类型分类

按数控系统的进给伺服系统有无位置测量装置可分为开环数控系统和闭环数控系统，闭环数控系统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。

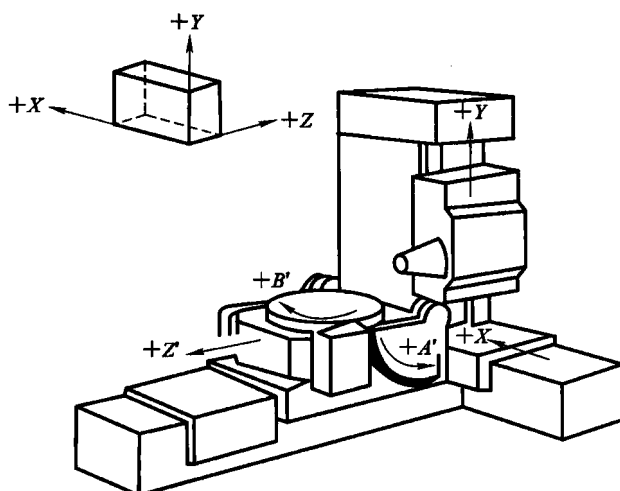


图 1-8 5 轴联动数控机床

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床是没有位置测量装置的数控机床，其数控装置发出的信号流程是单向的，其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度，一般以功率步进电机作为伺服驱动元件。开环控制数控机床具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、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或旧机床改造。

2. 全闭环控制数控机床

全闭环控制数控机床是将检测装置安装在机床刀架或工作台等执行部件上，用以随时检测这些执行部件的实际位置，并将检测到的实际位置反馈到数控装置的比较器中与程序指令值进行比较，用差值进行控制，具有很高的位置控制精度。但由于将滚珠丝杠副及工作台导轨副等大惯量环节放在闭环之内，很容易造成系统的不稳定，安装和调试都较困难。该控制系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及较大型的数控机床。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床将位置检测装置安装在伺服电机上或丝杠的端部，通过检测伺服电机或传动丝杠的转角间接计算出机床工作台等执行部件的实际位置值，然后与程序指令值进行比较，用差值进行控制，由于半闭环控制环内不包括滚珠丝杠副及工作台导轨副等大惯量环节，可获得稳定的控制性能。但由于丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的运动误差难以消除，其精度较全闭环差。半闭环控制系统结构简单、调试方便、精度也较高，因而在现代数控机床中得到了广泛应用。

1.2.3 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高三档。三档的界限是相对的，不同时期划分的标准也会有所不同。就目前的发展水平而言，可以根据表 1-1 所示的一些功能及指标进行划分。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标

功 能	低 档	中 档	高 档
分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/(m/min)	8~15	15~24	15~100
驱动进给类型	开环	半闭环或闭环的直流或交流伺服系统	
联动轴数/轴	2~3	2~4	3~5 以上
通信功能	一般无	RS-232 或 DNC 接口	可有 MAP 通信接口 ^① , 有联网能力
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示 ^②	有三维图形显示
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位以上或 32 位以上的多 CPU	

注：① MAP——manufacturing automation protocol 制造自动化协议；

② 较齐全的 CRT 显示是指具有字符、图形、人机对话、自诊断等功能的显示。

1.2.4 按工艺用途分类

1) 切削加工类。采用车、铣、镗、磨、刨、齿轮加工等各种切削工艺的数控机床。它又可分为以下两类：

① 普通型数控机床：如数控镗铣床、数控车床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。

② 加工中心：加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。工件经一次装夹后，通过自动更换各种刀具，在同一台机床上对工件各加工表面连续进行铣(车)、镗、铰、钻、攻螺纹等多种工序的加工，如镗/铣类加工中心、车削中心、钻削中心等。

2) 成形加工类。采用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床。常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

3) 特种加工类。主要有数控线切割机、数控电火花加工机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

4) 其他类型。主要有三坐标测量机、数控装配机、数控测量机、数控绘图仪、机器人等。

1.3 机床数控技术的发展动向

现代制造业对数控技术提出了更高的要求，当前数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面：

1) 运行高速化、加工高精化。速度和精度是数控设备的两个重要指标，也是数控技术永恒追求的目标，因为它直接关系到加工效率和产品质量。新一代数控设备在运行高速化、加工高精化等方面都有了更高的要求。由于计算机技术的不断进步，促进了数控技术水平的提高，

数控装置、进给伺服驱动装置和主轴伺服驱动装置的性能也随之提高,使得现代的数控设备在新的技术水平下可同时具备运行高速化、加工高精化的性能。

2) 功能复合化。复合化是指在一台设备能实现多种工艺手段加工的方法。如镗铣钻复合——加工中心(ATC)、五面加工中心(ATC,主轴立卧转换);车铣复合——车削中心(ATC,动力刀头);铣镗钻车复合——复合加工中心(ATC,可自动装卸车刀架);铣镗钻磨复合——复合加工中心(ATC,动力磨头);可更换主轴箱的数控机床——组合加工中心。

3) 控制智能化。随着人工智能技术的不断发展,并为满足制造业生产柔性化、制造自动化发展需求,数控技术智能化程度不断提高。

4) 体系开放化。具有在不同的工作平台上均能实现系统功能,且可以与其他的应用系统进行互操作的系统。系统构件(软件和硬件)具有标准化(standardization)、多样化(diversification)和互换性(interchangeability)的特征,允许通过对构件的增减来构造系统,实现系统“积木式”的集成。系统构造应该是可移植的和透明的。

5) 驱动并联化。并联加工中心(又称6杆数控机床、虚轴机床)是数控机床在结构上取得的重大突破。

6) 交互网络化。支持网络通信协议,既能满足单机需要,又能满足FMC、FMS、CIMS对基层设备集成要求的数控系统,该系统是形成“全球制造”的基础单元。

7) 造型宜人化。造型宜人化是一种新的设计思想和观念,是功能设计、人机工程学与工业美学的有机结合,是专业人文精神的具体体现,也是技术与经济、文化和艺术的协调统一。遵循该设计理念的产品变得更具人文关怀、更具魅力和市场竞争能力。

思考与练习题

- 1.1 何谓数控技术?何谓数控机床?
- 1.2 数控机床主要由哪几部分组成?各有何作用?
- 1.3 与普通机床相比,数控机床的主要特点是什么?
- 1.4 数控机床按控制方式分可分为哪几大类?
- 1.5 解释以下名词术语:
加工中心、联动控制、CNC、FMS、CIMS、闭环进给伺服系统。
- 1.6 简述数控机床的发展趋势。

第 2 章 数控加工编程基础

2.1 数控加工编程的基础知识

2.1.1 数控程序的编制方法及步骤

数控编程是从分析零件图样开始到获得合格数控加工程序的全过程。根据零件的复杂程度，数控编程有手工编程和自动编程两种方法。对于一些几何形状或加工内容较简单的零件，如二维运动的孔系加工或轮廓加工，由于轨迹坐标计算简单，程序也不长，采用手工编程经济、方便。对于形状复杂、计算量大的零件，用手工编程困难，出错率大，效率低，有时甚至无法编制，通常采用自动编程。

手工编程是指由人工完成数控编程的全部工作，包括分析零件图样、确定零件加工工艺、数学处理、编写加工程序、程序的输入等，其工作流程如图 2-1 所示。

自动编程是指由计算机完成数控编程的大部分或全部工作，如刀具路径的生成、加工仿真、数控加工程序的生成等。自动编程有效地提高了编程效率和编程质量，同时解决了手工编程无法解决的复杂零件的编程难题。工件表面形状越复杂，工艺过程越烦琐，自动编程的优势越明显。

自动编程多采用图形交互式自动编程，它是基于某一 CAD/CAM 软件，以人机交互方式完成零件的 2D 或 3D 造型、加工工艺参数的设定、自动生成刀具加工轨迹，再通过后置处理将刀具加工轨迹转换成符合特定数控系统要求的数控加工程序，其工作流程如图 2-2 所示。

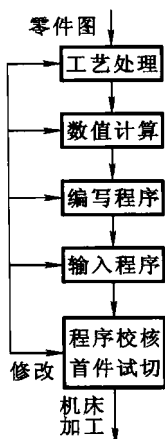


图 2-1 程序编制的一般过程

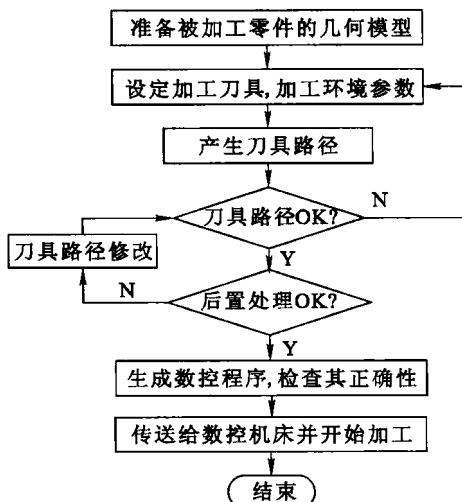


图 2-2 CAM 系统工作流程