

普通高等教育“十三五”规划教材



数控机床编程与操作

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG YU CAOZUO

■ 杨丙乾 主 编 ■ 贾晨辉 吴孜越 副主编

SHUKONG JICHUANG
BIANCHENG YU CAOZUO



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

数控机床编程与操作

杨丙乾 主编 贾晨辉 吴孜越 副主编



化学工业出版社

北京

元 38.00 价 家

ISBN 978-7-122-31824-2

本书立足于数字化制造应用技术，以理论知识做引导，以实际应用为目的，融基础知识、操作技能、工艺知识、编程原理和方法于一体，主要内容包括数字化制造的基础知识、数控机床操作、数控加工工艺基础、常用编程指令、数控车床编程、数控铣床（加工中心）编程、数控加工宏编程、CAD/CAM 基础知识和 Creo 自动编程应用举例。

本书配有 PPT 电子教案和习题答案，可在化学工业出版社的官方网站上下载。

本书主要作为应用型本科院校的机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等机械类和近机类专业的用书，也可作为广大工程技术人员的自学和培训用书，对从事数字化制造和研究的科技人员也有一定的参考价值。

数控机床编程与操作

杨丙乾 主编 杨丙乾 副主编 杨丙乾 副主编

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程与操作/杨丙乾主编. —北京: 化学工业出版社, 2018. 6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-31943-2

I. ①数… II. ①杨… III. ①数控机床-程序设计-高等学校-教材②数控机床-操作-高等学校-教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 073890 号

责任编辑: 高 钰
责任校对: 边 涛

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 339 千字 2018 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前言

数字化制造技术的发展正在引领着传统机械制造业的又一次变革，现代化制造企业越来越离不开CAD、CAE、CAM和数控加工等先进制造技术的支撑。先进制造技术代表着一个企业的设计、制造水平，并与产品的质量、成本及生产周期息息相关。

随着数字化设计和制造技术应用的普及与发展，现代企业对掌握数控加工、编程和操作技术的人才需求量将会越来越大，了解和掌握数字化制造知识与技术是企业对工程技术人员的基本要求，工科院校机械类学生理应掌握数字化制造技术。为适应这种发展的需要，根据高等院校应用型本科培养教学目标和要求，我们组织编写了本书。

本书立足于数字化制造应用技术，以理论知识作基础，以实际应用为目的，融基础知识、工艺技术、编程原理和方法、机床操作技能于一体，紧紧围绕企业对数字化制造人才的实际需求，强调数字化制造应用能力的培养，力求在系统性、先进性、实用性和完整性上达到统一，更好地满足企业发展对人才的需要。

全书共8章。第1章主要介绍数字化制造的相关技术与发展；第2章主要介绍数控机床的操作知识；第3章主要介绍数控加工的工艺基础知识；第4章主要介绍有关数控编程的基础知识及常用编程指令；第5章主要介绍数控车床的简化编程指令、刀具补偿及实际加工编程举例；第6章主要介绍数控铣床（加工中心）高效编程指令及实际加工编程举例；第7章主要介绍宏编程基础知识及编程应用；第8章主要介绍CAD/CAM基础概念，并通过实例介绍Creo的自动编程过程。每章后均配有思考与练习题，以便对所学内容的巩固和提高。

本书主要作为应用型本科院校的机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等机械类或近机类专业的用书，或作为广大自学者及工程技术人员自学和培训用书，对从事数控技术应用加工和研究的科技人员也有一定的参考价值。

本书参考学时60课时，有关章节内容可根据专业要求及学时情况酌情调整。

本书配有多媒体教学的PPT课件及习题答案，并将免费提供给采用本书作为教材的院校使用。如有需要，请发电子邮件至cipedu@163.com获取，或登录www.cipedu.com.cn免费下载。

参加本书编写的院校和教师有：第1、3、4、6章由河南科技大学杨丙乾、贾晨辉老师编写；第2章由河南科技大学贾新杰、洛阳理工学院王雅红老师编写；第5章由河南科技大学贾新杰老师编写；第7章由河南科技大学张壮雅老师编写；第8章由河南科技大学陈立海老师编写。全书由杨丙乾主编，由杨丙乾、吴孜越完成全书的统稿工作。

本书在编写过程中参阅了同行专家学者和一些院校的教材、资料和文献，在此谨致谢意。由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正，以便进一步修改。

编者

2018年3月

目录

第1章 概论 1

1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数控机床的发展	2
1.2 数控机床的组成、工作原理与分类	5
1.2.1 数控机床的组成	5
1.2.2 数控机床的工作原理	7
1.2.3 数控机床的分类	7
1.2.4 数控加工的特点与使用要求	11
1.3 数控系统简介	13
1.3.1 数控系统概述	13
1.3.2 常用数控系统	15
1.4 数控程序的编制流程和方法	17
1.4.1 数控程序的编制流程	17
1.4.2 数控程序编写方法	18
思考与练习题	19

第2章 数控机床操作 21

2.1 数控机床操作基础	21
2.1.1 数控机床的工作模式	21
2.1.2 数控系统的功能模块	22
2.1.3 数控机床的操作与控制	23
2.1.4 数控机床安全操作常识	29
2.2 数控车床的基本操作	30
2.2.1 ZAK4085 数控车床操作界面	30
2.2.2 数控车床的基本操作	33
2.3 加工中心(数控铣)的基本操作	35
2.3.1 BM650T 加工中心的操作界面	35
2.3.2 加工中心(数控铣)的基本操作	36
思考与练习题	39

第3章 数控加工工艺概述 40

3.1 数控加工工艺过程及特点	40
-----------------------	----

3.1.1	数控加工的工艺过程	40
3.1.2	数控加工工艺的特点	40
3.2	数控加工工艺路线制订	41
3.2.1	数控加工的结构工艺性	41
3.2.2	数控加工工艺路线的安排	42
3.2.3	工艺装备选择	44
3.3	走刀路线与编程轨迹	44
3.3.1	刀具上的切削点和刀位点	44
3.3.2	走刀路线与编程轨迹	45
3.3.3	走刀路线的选择	47
3.4	编程坐标系与数学处理	52
3.4.1	编程坐标系的确定原则	52
3.4.2	数学处理的任务	54
3.5	数控加工工艺文件	55
3.5.1	编程任务书	55
3.5.2	数控加工工序卡	55
3.5.3	刀具走刀路线图	56
3.5.4	数控刀具调整卡	56
3.5.5	数控加工程序单	57
3.5.6	数控机床调整卡	59
	思考与练习题	59

第4章 数控程序与常用指令 **60**

4.1	数控程序的结构形式	60
4.1.1	数控程序的结构形式	60
4.1.2	程序段与功能字	61
4.1.3	地址符及其含义	63
4.2	数控加工的坐标系	63
4.2.1	机床坐标系	64
4.2.2	编程坐标系	65
4.2.3	加工坐标系	66
4.3	常用的准备功能字	67
4.3.1	G指令概述	67
4.3.2	运动路径控制指令	70
4.3.3	工件坐标系设定指令	74
4.3.4	坐标值设定指令	77
4.3.5	运动单位设定指令	78
4.3.6	坐标平面选择指令	79
4.3.7	刀具补偿指令	80

4.4	常用的辅助功能字	84
4.4.1	M 指令概述	84
4.4.2	程序运行控制 M 代码	86
4.4.3	机床动作控制 M 代码	86
4.5	其他常用功能字	86
4.5.1	刀具功能 T	86
4.5.2	进给功能 F	87
4.5.3	主轴转速功能 S	87
	思考与练习题	87

第 5 章 数控车床编程

89

5.1	数控车床的编程特点	89
5.1.1	数控车床的特点及工艺范围	89
5.1.2	数控车床的编程特点	91
5.2	数控车床的简化编程指令	92
5.2.1	车削循环编程指令	92
5.2.2	螺纹车削指令	102
5.3	数控车床的刀具补偿	108
5.3.1	车刀的位置偏差补偿	109
5.3.2	车刀刀尖圆弧半径补偿	110
5.4	数控车床编程加工应用举例	112
	思考与练习题	116

第 6 章 数控铣床（加工中心）编程

118

6.1	数控铣床的编程特点	118
6.1.1	数控铣床加工的特点	118
6.1.2	数控铣床的编程特点	119
6.2	数控铣床的高效编程指令	119
6.2.1	孔加工循环指令	119
6.2.2	其他高效编程指令	128
6.3	数控铣床编程加工应用举例	133
6.3.1	腔槽加工	133
6.3.2	孔系加工	138
6.3.3	轮廓加工	141
6.3.4	简单曲面加工	142
	思考与练习题	145

第 7 章 数控加工宏编程

148

7.1	宏程序概述	148
7.1.1	宏程序的概念	148

7.1.2	宏编程的特点及用途	149
7.2	宏变量及使用	149
7.2.1	宏变量及其分类	149
7.2.2	变量的使用	151
7.3	变量的运算	154
7.3.1	变量的运算命令	154
7.3.2	运算的优先级	155
7.3.3	运算的几点说明	155
7.4	宏程序的流程控制	156
7.4.1	无条件转移 GOTO	156
7.4.2	有条件转移 IF	157
7.4.3	循环 WHILE	158
7.5	宏程序调用	159
7.5.1	非模态调用 G65	159
7.5.2	模态调用 G66	161
7.5.3	用 G 码调用宏程序	163
7.5.4	用 M 码调用宏程序	164
7.5.5	用 M 码调用子程序	164
7.5.6	用 T 码调用子程序	165
7.6	宏编程实例	165
7.6.1	车床加工宏编程实例	165
7.6.2	铣床加工宏编程实例	169
	思考与练习题	174

第 8 章 自动编程技术介绍 177

8.1	概述	177
8.1.1	自动编程技术的产生	177
8.1.2	自动编程技术的特点	178
8.1.3	自动编程技术的发展趋势	178
8.2	CAD/CAM 技术介绍	178
8.2.1	CAD/CAM 与数控加工的关系	179
8.2.2	CAD/CAM 软件的技术特点	179
8.2.3	国内外流行的 CAD/CAM 软件	180
8.2.4	CAD/CAM 技术的发展趋势	181
8.3	Creo/NC 应用介绍	181
8.3.1	Creo/NC 概述	181
8.3.2	Creo/NC 自动编程实例	190
	思考与练习题	210

参考文献 212

第1章

概论

1.1 数控机床的产生与发展

数控技术简称数控 (Numerical Control, NC), 即采用数字控制机器的技术。而数控机床 (Numerical Control Machine Tools), 就是采用数字控制技术的机械加工机床, 具体地说, 就是利用计算机, 通过数字化信息 (数控指令) 来自动完成机床各个坐标轴的协调运动, 准确地控制机床运动部件的速度和位移量, 按加工的动作顺序要求自动控制机床各个部件的动作。

1.1.1 数控机床的产生

第二次世界大战期间, 美国军方为了解决计算大量军用数据的难题, 成立了由宾夕法尼亚大学莫奇利和埃克特领导的研究小组, 开始研制世界上第一台电子计算机。经过三年的紧张工作, 第一台电子计算机终于在 1946 年 2 月 14 日问世, 这台电子计算机采用电子管元件, 重 30t, 占地面积 167m², 功率 150kW。

电子计算机的出现极大地推动了自动控制、信息处理等技术的发展, 也催生了采用数字控制技术用于机械加工的思想。

1948 年, 美国北密歇根州的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司 (Parsons Corporation) 接受美国空军委托, 研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样, 精度要求高, 一般加工设备难以胜任, 他们便利用电子计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理, 并据此提出了计算机控制机床加工的设计。

1949 年, 帕森斯公司与美国麻省理工学院伺服机构研究室联合开始数控机床研究。1952 年, 美国麻省理工学院在一台立式铣床上, 装上了一套试验性数控系统, 成功地实现了同时控制 3 轴的运动, 世界上第一台数控机床就此诞生, 如图 1-1 所示。

1954 年 11 月, 在帕森斯公司专利的基础上, 第一台工业用的数控机床由美国的本迪克斯公司 (Bendix-Corporation) 生产出来。

数控机床的出现是制造技术发展过程中的一个重大突破, 标志着制造领域中数控加工时代的开始。数控加工是现代制造技术的基础, 这一发明对于制造行业而言, 具有划时代的意义和深远的影响。

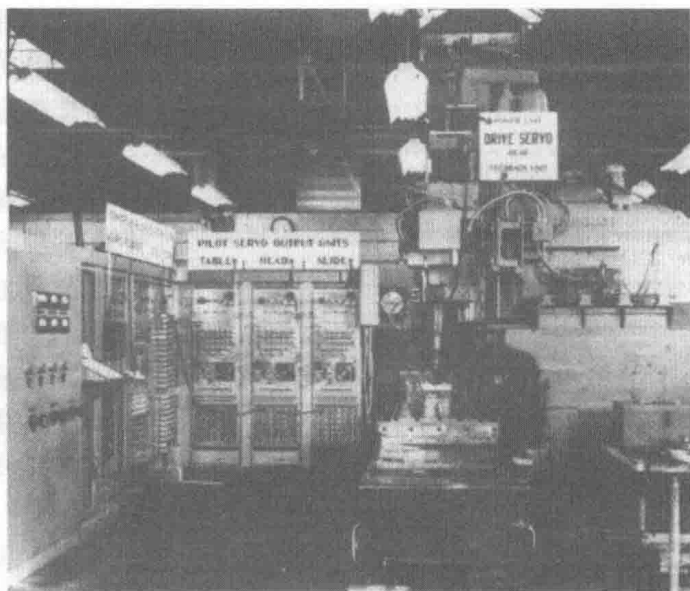


图 1-1 世界上第一台数控机床

1.1.2 数控机床的发展

数控机床的发展过程主要是数控系统和机床结构功能的发展过程。

(1) 数控系统的发展

数控系统的发展主要体现在电子元器件技术的发展上。从 1952 年第一台数控机床诞生至今, 纵观数控机床半个多世纪的发展, 其数控系统共经历了两个阶段六代的发展。

第一代数控机床的数控系统采用电子管元件, 体积庞大, 价格昂贵, 只有航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件。

1959 年, 电子行业研制出晶体管元器件, 因而数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板, 从而跨入了第二代, 使数控系统体积缩小, 成本有所下降。1960 年以后, 较为简单和经济的点位控制数控钻床和直线控制数控铣床得到较快发展, 使数控机床在机械制造业各部门逐步获得推广。

1965 年, 出现了第三代的小规模集成电路数控系统, 不仅体积小, 而且功率消耗少, 使数控系统的可靠性得到进一步提高, 价格进一步下降, 促进了数控机床品种和产量的发展, 从而使数控系统的发展进入到第三代。

以上三代的 NC 系统, 由于其数控功能均由硬件实现, 因此又称为硬件数控。它的特点是具有很多硬件电路和连接节点, 电路复杂, 可靠性不好, 这是数控系统发展的第一阶段。

20 世纪 60 年代末, 先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统 (Direct Numerical Control, DNC), 又称群控系统; 采用小型计算机控制的计算机数控系统 (Computer Numerical Control, CNC), 使数控系统进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1970 年前后, 美国英特尔公司开发了超大规模集成电路的微处理器。1974 年, 美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统和数控机床。在 20 多年中, 微处理器数控系统的数控机床得到飞速发展和广泛应用, 这就是第五代数控 (Microcomputer Numerical Control, MNC)。后来, 人们将 MNC 也统称为 CNC。第五代与第三代相比, 数控系统的

功能扩大了一倍，而体积则缩小为原来的 $1/20$ ，价格降低了 $3/4$ ，可靠性也得到极大的提高。

20 世纪 90 年代以来，随着微电子技术、计算机技术的发展，以个人计算机 (Personal Computer, PC) 技术为基础的 CNC 逐步发展成为世界的主流，它是自有数控技术以来最有深远意义的一次飞跃。以 PC 为基础的 CNC 通常是指运动控制板或整个 CNC 单元 (包括集成的 PLC) 插入到 PC 标准插槽中，使用标准的硬件平台和操作系统，这就是第六代数控机床。

后三代是数控系统发展的第二阶段，其数控系统主要由计算机硬件和软件组成，也称为计算机数控 (CNC)。其最大特点是利用存储在存储器里的软件控制系统工作，这种系统容易扩大功能，柔性好，可靠性高。

(2) 数控机床结构功能的发展

从 1952 年出现第一台数控机床开始，伴随着数控系统的发展，人们对数控机床结构和功能的探索发展就没有停止过。

1959 年 3 月，由美国克耐·杜列克公司 (KeaneY & Trecker Corp) 发明了带有自动换刀装置的数控机床，称为加工中心 (Machine Center, MC)。

1967 年，英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统，这就是最初的柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS)。它是由若干台数控设备、物料运储装置和计算机控制系统组成，并能根据制造任务和品种的变化而迅速进行调整的自动化制造系统，也是为了解决多品种、中小批量生产中效率低、周期长、成本高、质量差等问题而出现的高技术制造系统。大批量生产时，一般采用较大规模的“柔性加工系统”，即柔性生产线。

1980 年以后，国际上出现了 1 台或 2~3 台加工中心或车削中心为主体，再配合工件自动装卸和监控检验装置，构成柔性制造单元 (Flexible Manufacturing Cell, FMC)，把若干 FMC 和 FMS 连接起来，配上无人自动物料运送车，加上辅助机器人装卸工件和自动检验装置，并由总的中央计算机统一管理，就构成了计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

传统机床的布局属于串联机构，其特点是工作范围大、灵活性好、精度低、刚性差。为提高刚性，不得不增加床身和导轨的结构尺寸，由此导致运动范围和灵活性降低。为解决这一矛盾，20 世纪 90 年代提出了并联机床 (Parallel Machine Tools, PMT) 的概念，又称并联结构机床 (Parallel Structured Machine Tools, PSMT)、虚拟轴机床 (Virtual Axis Machine Tools, VAMT)，国际上一般称为并行运动学机 (Parallel Kinematic Machine, PKM)，也曾被称为六条腿机床、六足虫 (Hexapods)。

并联机床是基于空间并联机构 Stewart 平台原理开发的，是一种新概念机床，它是并联机器人机构与机床结合的产物。它克服了传统机床串联机构刀具只能沿固定导轨进给、刀具作业自由度偏低、设备加工灵活性和机动性不够等固有缺陷，可实现多坐标联动的加工、装配和测量等多种功能，更能满足异形复杂零件的加工。其自 1994 年在美国芝加哥机床展上首次面世即被誉为是“21 世纪的机床”，成为机床家族中最有生命力的新成员。图 1-2 为传统机床与并联机床的结构对比。

进入 21 世纪，数控机床迎来了一个蓬勃发展的新时期，随着制造业对数控机床的大量需求以及计算机技术和现代设计技术的飞速进步，数控机床的应用范围还在不断扩大和发

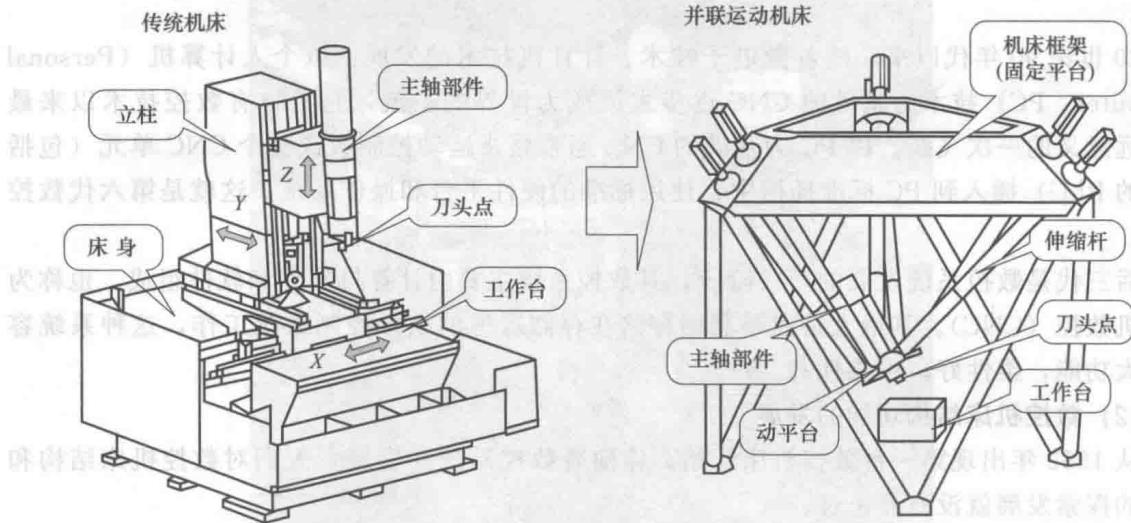


图 1-2 传统机床与并联机床机构对比

展，以更适应社会发展和生产加工的需要，高速化、高精度化、复合化、智能化、开放化、网络化、多轴化、绿色化等成为数控机床的发展趋势。

(3) 我国数控机床发展概况

我国数控机床的发展起步于 20 世纪 50 年代，通过“六五”期间引进数控技术，“七五”期间组织消化吸收“科技攻关”，我国数控技术和数控产业取得了相当大的成绩。

20 世纪 50 年代末到 60 年代初，我国 NC 机床处于研制、开发时期，图 1-3 所示为我国 1958 年试制成功的第一台电子管数控机床。当时，我国的一些高等院校、科研单位都投入了人力、物力从事数控机床的研制工作。

1959 年，随着晶体管的发明，开始研制晶体管数控装置。70 年代初，研制数控铣床、非圆数控齿轮插齿机，在生产中产生了明显的经济效益。而后数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电火花、线切割等领域的应用全面展开，数控加工中心也相继在上海、北京研制成功。

70 年代初期，国产数控机床由于电子元器件的质量和制造工艺水平差，致使数控装置的稳定性、可靠性问题未得到解决。另外，其售价也贵，因此未能广泛推广。

80 年代以后，随着实行改革开放，打开国门，我国先后从日本、美国等国家引进了部分数控装置及伺服系统的技术，并消化吸收，开始批量生产。

这些数控装置稳定性好、可靠性高，数控机床很快在国内为客户所接受，推动了我国数控机床的稳定发展，使我国的数控机床在质量性能及水平上有了一个质的飞跃。

1985 年，我国数控机床品种也有了新的发展，除各类数控线切割机床外，其他类型的

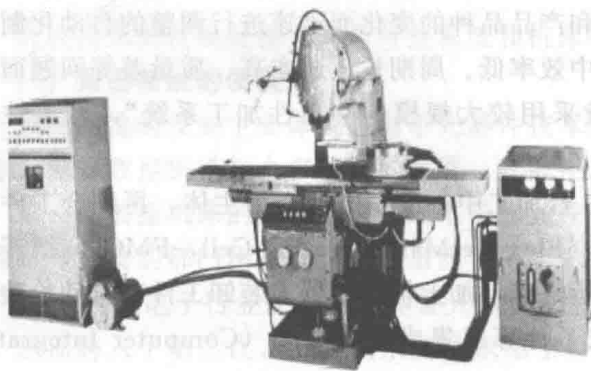


图 1-3 我国第一台电子管数控机床

各种数控金属切削机床都有极大发展,新品种总计45种。1989年年底,我国数控机床的品种已经超过了300种,其中数控车床占40%,加工中心占27%。

目前我国在数控机床发展中依然处于低档迅速膨胀、中档进展缓慢、高档依赖进口的局面,特别是国家重点工程需要的关键设备主要依靠进口,技术受制于人。究其原因主要在于国产数控机床的研究开发深度不够、制造水平依然落后、服务意识与能力欠缺、数控装置生产应用推广不力及数控人才缺乏等。

2009年,我国在高档数控机床上又有了新的突破。北京第一机床厂研制的XKA28105300数控桥式动梁龙门铣床,机床总宽22m,高度15m,总长39m,总重约900t。龙门最大通过宽度达10.5m,可完成复杂曲面的5坐标联动加工和车铣复合加工,是目前国内龙门通过宽度最大的超重型数控龙门移动式动梁5轴联动车铣复合机床,也是目前世界最大规格的龙门机床之一。

1.2 数控机床的组成、工作原理与分类

1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由输入装置、数控装置、伺服装置、强电控制柜、机床本体和检测反馈装置组成,如图1-4所示。

(1) 加工程序

加工程序是数控机床自动加工零件的工作指令。它是在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系中的相对位置(即工件在机床上的安装位置,刀具与工件的相对运动位置关系)、工件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。

得到工件加工的所有运动、尺寸、工艺参数等信息后,用由字符、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行;对于形状复杂的零件,则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程(Automatically Programmed Tools, APT)或图形交互式CAD/CAM编程。

编好的数控程序,存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁带、磁盘、U盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

(2) 输入装置

输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控装置内。根据控制存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控装置;数控加工程序还可通过外部编程计算机通过RS-232C或网络通信方式传送到数控装置中。

运行数控程序对零件进行加工的方式有两种:一种是数控程序存储于外部计算机中,通过数据线将外部计算机与数控装置相连,运行加工时边读入边加工(数控装置内存较小时);另一种是将数控程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时数控装置直接从内部存储器中

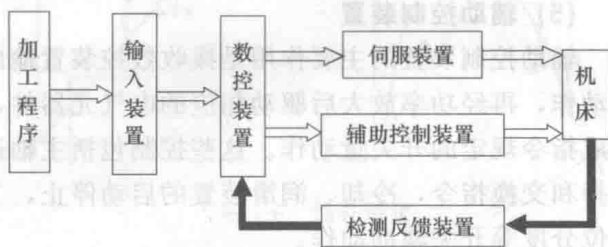


图 1-4 数控机床的组成

逐段调出进行运行加工。

(3) 数控装置

数控装置是机床实现自动加工的核心，主要由操作系统、主控制系统、可编程控制器、各类 I/O 接口等组成。它的主要功能有：多坐标控制和多种函数的插补；数控程序输入、编辑和修改功能；信息转换功能；刀具补偿功能；加工方法选择；显示功能；自诊断功能；通信和联网功能。其控制方式有两类：数据运算处理控制和时序逻辑控制。其中主控制器内的插补运算模块是通过译码、编译等信息处理，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统位置、速度反馈信号比较，从而控制机床各个坐标轴的移动；而时序逻辑控制通常主要由可编程控制器 PLC 来完成，它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判别，从而控制机床各个部件按次序工作。

(4) 伺服装置

它是数控系统的执行部分，主要由驱动控制装置（含功率放大器）和执行机构等组成，并与机床的执行部件和机械传动部件相连接组成进给系统。伺服装置接收来自数控装置发出的速度和位移信号，经功率放大后，控制执行部件的移动速度、方向和位移，以加工出符合图纸要求的零件。

因此，它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

(5) 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量信号指令，经过编译、逻辑判别和动作，再经功率放大后驱动相应的电气元器件，驱动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启动停止，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。

由于可编程逻辑控制器（PLC）具有响应快，性能可靠，易于使用，可进行程序编辑和修改，并可直接启动机床开关等特点，现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

(6) 检测反馈装置

它用于检测数控机床各坐标轴的实际位移量，经反馈装置输入到机床的数控装置之中，数控装置将反馈回来的实际位移量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执行部件的进给运动。

(7) 机床本体

它是指数控机床机械结构实体和液压气动系统（包括润滑、冷却系统），机床机械结构实体主要由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置等组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面均已发生了很大的变化。这种变化是为了满足数控机床的性能要求和充分发挥数控机床的工艺特点。其主要变化有：

- ① 采用高性能主传动及主轴部件。
- ② 进给传动采用高效传动件。一般采用滚珠丝杠螺母副、直线滚动导轨副等。
- ③ 具有较完善的刀具自动交换和管理系统。
- ④ 具有工件自动交换、工件夹紧与放松机构。

⑤ 床身机架具有很高的动、静刚度。

⑥ 采用全封闭罩壳。

1.2.2 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 1-5 所示。根据被加工零件的技术要求和工艺要求编写的零件数控加工程序，通过输入装置输入到数控装置中，数控装置对数控程序进行编译、计算等处理后发出运动控制信号，伺服装置根据接收到的信号驱动机床的主轴运动、进给运动、刀具更换，以及加工过程中的其他辅助动作（如：工件的夹紧与松开，冷却、润滑泵的开与关），从而使刀具、工件和其他辅助装置严格按照加工程序规定的次序、运动轨迹和参数进行工作，加工出符合图纸要求的零件。

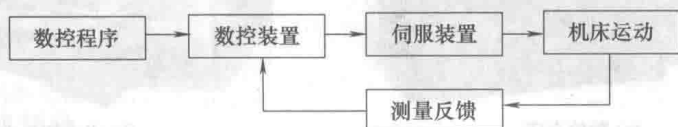


图 1-5 数控机床工作原理

零件的轮廓线一般由直线、圆弧或其他非圆弧曲线构成，刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸要求进行运动。数控程序中只给定了零件加工轮廓线的起点和终点坐标值，无法满足刀具切削加工运动的控制要求，数控装置必须进行刀具运动轨迹的插补计算，即在线段的起点和终点之间，按照一定的拟合精度要求再插入一系列中间点，这种坐标点的“密化计算”称作插补，如图 1-6 所示。

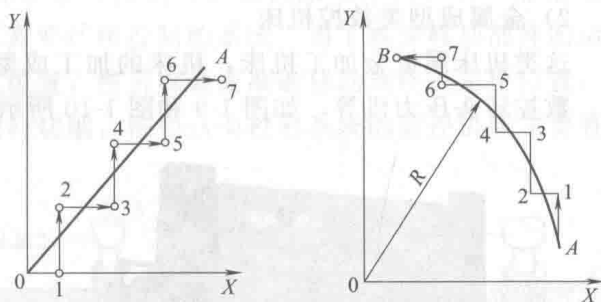


图 1-6 插补原理

在数控加工时，数控装置需要对读入的数控程序进行编译和数据处理，然后还需进行插补计算，根据插补计算结果向相应运动轴发出脉冲信号，控制各运动轴（即进给运动的各执行元件）按给定的运动参数进行运动，从而保证各个运动轴之间的精密运动关系，这种控制方式就称为联动控制，如图 1-7 所示。

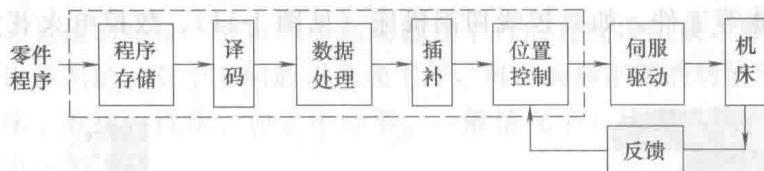


图 1-7 数控机床联动控制原理

1.2.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，为了便于了解和研究它们的特点，可以从不同的角度对其进行分类。

(1) 按工艺用途划分

1) 金属切削类数控机床

与传统通用机床品种相对应,数控机床也有数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。装有刀库具有自动换刀功能的数控机床称为数控加工中心,简称加工中心。加工中心目前主要有两类:一类是在镗、铣床基础上发展起来的数控铣削加工中心;另一类是在车床基础上发展起来的,称为车削加工中心。图 1-8 (a) 所示为数控车床,图 1-8 (b) 所示为立式铣削加工中心示意图。



图 1-8 金属切削数控机床

2) 金属成型类数控机床

这类机床属钣金加工机床,机床的加工成型运动比较简单。如数控折弯机、数控弯管机、数控转头压力机等,如图 1-9 和图 1-10 所示。

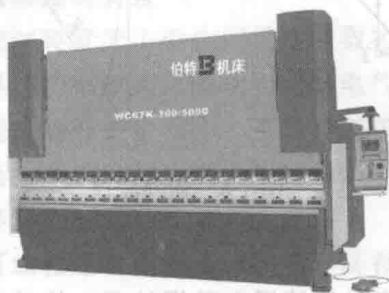


图 1-9 数控折弯机



图 1-10 数控弯管机

3) 数控特种加工机床

它主要指利用电能、化学能等能量进行加工的数控机床,这类机床适合加工难加工材料、复杂几何形体等工件。如数控线切割机床(见图 1-11)、数控电火花加工机床(见图 1-12)等。

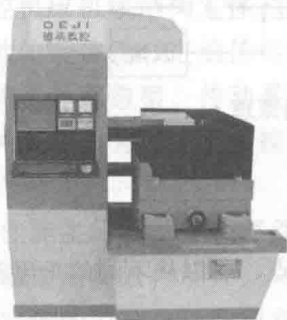


图 1-11 数控线切割机床

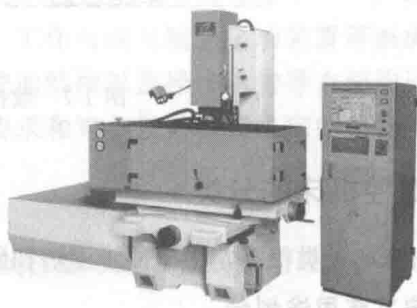


图 1-12 数控电火花加工机床

4) 其他类型数控机床

除上述三类数控机床之外的数控机床, 诸如: 火焰切割机床 (见图 1-13), 数控三坐标测量机 (见图 1-14) 等。

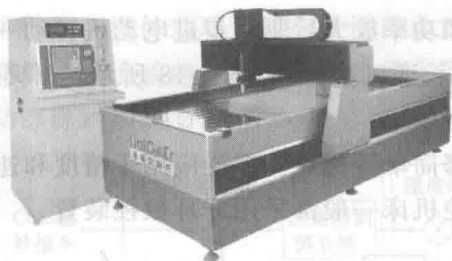


图 1-13 数控火焰切割机



图 1-14 数控三坐标测量机

(2) 按运动方式划分

1) 点位控制数控机床

如图 1-15 所示, 点位控制系统是指数控装置只控制刀具或机床工作台, 从一点准确地移动到另一点, 而点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的系统。为了减少移动部件的运动与定位时间, 一般先以快速移动到终点附近位置, 然后以低速准确移动到终点定位位置, 以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。使用这类控制系统的数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床等。



图 1-15 点位加工控制

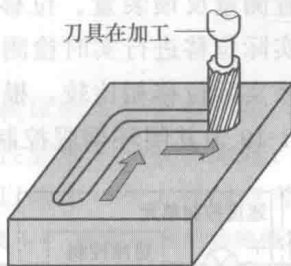


图 1-16 点位直线控制



图 1-17 轮廓控制加工

2) 点位直线控制数控机床

这类数控机床不仅要求具有准确的点定位功能, 而且要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工。其刀具运动路径一般由和各运动轴线平行的直线段组成, 如图 1-16 所示。运动时的速度是可以控制的, 对于不同的刀具和工件, 可以选择不同的切削用量。这类数控机床包括: 数控车床、数控镗铣床、加工中心等。一般情况下, 这类机床有 2~3 个可控轴。但同时控制轴只有一个。

3) 轮廓控制数控机床

图 1-17 为两坐标轮廓控制数控加工示意图。这类数控机床能够对两个或两个以上坐标轴同时进行控制加工, 它不仅能严格控制机床运动件的起点与终点坐标, 还能严格控制刀具的运动轨迹, 以便加工工件的任意曲线轮廓或曲面。几个坐标轴按严格的函数关系同时协调运动, 称为坐标联动。按联动轴数可以分为 2 轴联动、2.5 轴联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等数控机床。2.5 轴联动是三个主要坐标控制轴 (X、Y、Z) 中, 任意两个轴联动,