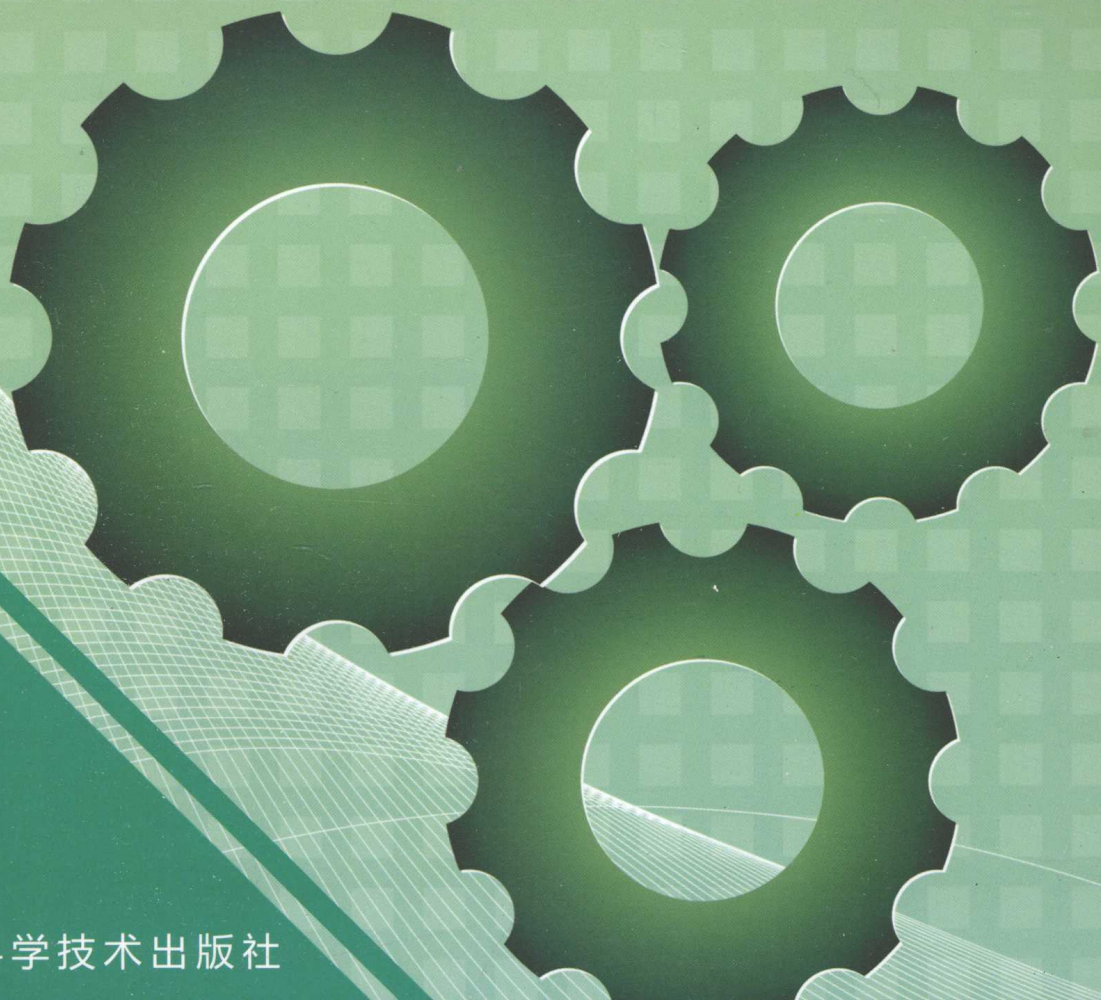




SHUKONG JIAGONG YU BIANCHENG

数控加工与编程

张延萍 主编



“十二五”高职高专机电类专业规划教材

数控加工与编程

张延萍 主编

河南科学技术出版社

·郑州·



内 容 提 要

本教材是根据教育部“高职高专技能型人才培养方案”的教学要求编写的。本教材包括数控加工基础、数控车削加工与编程、数控铣削及加工中心加工与编程、数控机床的操作四个模块,分别介绍了数控机床,数控编程基础,数控车削加工与编程,轴类零件的加工与编程,套类零件的加工与编程、SIEMENS 802S 系统数控车削加工与编程,数控铣床及其编程基础,数控铣削加工工艺性分析,平面类零件的加工与编程,孔和螺纹的加工与编程,数控铣削加工与编程综合实例,加工中心加工与编程,SIEMENS、华中 HNC 系统数控机床的操作等十四个课题。

本教材可作为高等职业技术学院、高等专科学校、技师学院和中等职业学校的机械设计制造、数控技术应用、模具设计制造等机电类专业的教材,也可作为工程技术人员学习数控编程技术的参考书及职工技能培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工与编程/张延萍主编. —郑州:河南科学技术出版社, 2010. 9
(“十二五”高职高专机电类专业规划教材)
ISBN 978 - 7 - 5349 - 4535 - 9

I. ①数… II. ①张… III. ①数控机床 - 程序设计 - 高等学校:
技术学校 - 教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 065218 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028 65788613

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 孙 彤

责任编辑: 张 恒

责任校对: 丁秀荣 耿宝文

封面设计: 李 冉

版式设计: 栾亚平

责任印制: 朱 飞

印 刷: 郑州文华印务有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 15.5 字数: 374 千字

版 次: 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 31.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系并调换。

序

近年来,我国高等职业教育的规模,无论是院校数量还是学生数量,都占据了高等教育总规模的半壁江山。高等职业教育是高等教育的一种新类型,承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式培养高综合素质、高技能人才的任务。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业对高综合素质、高技能专业人才的需求更为迫切。用人单位对劳动力的选择将不再仅凭一张文凭,而要看学生是否具有实际操作能力。面对这一形势,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,开展教学研究和改革,更新教学内容,改进教学方法,推进精品专业、精品课程和教材建设,取得了丰硕的成果。课程设置越来越贴近社会需求和个体需求,专业课程与职业资格证书衔接,增设了大量的专业选修课程和技能课程,完善了实训课程体系,这一切都较好地反映了劳动力市场的变化、学生择业观念的更新。及时总结这些成果并以教材形式予以体现,推广至更多的院校,无疑是一件意义深远的事情。为了适应高职高专教学改革的需要,鼓励教师编写富有特色的教材,促进高职高专机电类专业教学质量的不断提高,我们这几所参编院校在河南科学技术出版社出版的《“十一五”高职高专机电专业规划教材》基础上,总结了经验和教训,并进一步强调创新的理念,组织编写了这套《“十二五”高职高专机电类专业规划教材》。

本套教材基本涵盖了高职高专机电类专业的专业基础课、主干专业课和实训课,是按照高职教育“以服务为宗旨,以就业为导向”的指导思想和培养高综合素质、高技能人才的基本要求编写的。它对传统的课程体系和教学内容进行了整合和更新,精简了理论内容,突出了专业技能和理论知识应用能力的培养,缩小了学生专业技能与生产一线需求的差距,进一步体现了高职教育的人才培养特色。

参加本套教材编写的作者都是长期从事高职高专教学工作的教师,他们对高等职业技术人才的培养、对机电类专业的课程体系和教学改革具有深刻的理解和思考,在教学实践中积累了丰富的经验。从某种意义上说,本套教材是有关高职高专院校机电类专业多年教学改革成果的体现和凝练,相信它必将在今后的高职高专教学工作中发挥积极而重要的作用。

彭志宏

2010年1月18日

“十二五” 高职高专机电类专业规划教材 编审委员会名单

主 任 彭志宏

副主任 (按姓氏笔画排序)

王建庄 巴玉强 宁玉伟 肖 珑

宋海军 张 勤 赵 军 徐国强

高士忠 郭建庄 唐建生 董作霖

委 员 (按姓氏笔画排序)

王建勋 王晓峰 许万有 李小强

李新德 张 池 张延萍 张晓妍

张海英 赵章吉 俞佳芝 郭斌峰

鲍 莉 蔡振伟

前 言

数控技术是现代制造技术的核心和基础，随着数控技术在制造业中应用得越来越广泛，对此行业专业人才的需求也日益增多。为了适应社会和市场的需要，我国制定了数控技能型紧缺人才的培养培训方案，突出以操作技能为主导，加强生产实习等实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者。

结合目前高等职业教育、职业技能培训特点，“以职业能力为本位，以应用为核心”，本教材完全面向生产一线所需要的应用型技术人才的工程素质培养要求。在课程结构上，打破了学科体系，突出了“以就业为导向、以能力为本位”的特点；在基础知识上，以“必需、够用”为原则，体现了针对性和实用性；在技能训练上，以模块化的形式编写，增强实践性和应用性；在教材的编写过程中，以任务驱动的方式导入，注重把理论知识和技能训练相结合、教学实训和生产实际相结合，以国家职业技能鉴定为标准，突出了实践操作和编程技能，提高学生对所学知识的应用能力和综合能力。本教材在介绍数控机床基础知识的基础上，以 HNC（华中世纪星）、SIEMENS（西门子）两种数控系统为主，讲解编程指令的应用方法，并对两种数控系统的手动控制、程序编制与输入、对刀操作、自动加工操作等方面进行详细介绍和说明。此外，还对数控车削、数控铣削、加工中心加工工艺的制定方法及各种典型零件的编程加工方法作了详细介绍。

本教材共分四个模块，分别为数控加工基础、数控车削加工与编程、数控铣削及加工中心加工与编程、数控机床的操作。

本教材由郑州职业技术学院张延萍任主编，由河南工业贸易职业学院李倩、濮阳职业技术学院张路霞任副主编。本教材编写具体分工如下：课题 1、2、5、6 由郑州职业技术学院周辉编写，课题 3、4 由张延萍编写，课题 7、8、9 由张路霞编写，课题 10、11、12 由郑州华信学院陈尚坤编写，课题 13、14 由李倩编写。

本教材在编写过程中参阅了大量的相关文献与资料，在此向有关作者表示衷心感谢。

由于编者的水平和经验有限，书中可能存在错误或不妥之处，恳请广大读者批评指正，以便不断改进与完善。

编 者

2010 年 4 月

《数控加工与编程》编写人员

主 编 张延萍

副主编 李 倩 张路霞

编 者 (按姓氏笔画排序)

李 倩 张延萍 张路霞 陈尚坤

周 辉

目 录

模块一 数控加工基础

课题1 数控机床	1
1.1 数控技术概述	1
1.2 数控机床的工作原理、组成与分类	3
1.3 数控机床的特点及应用	8
思考与练习	9
课题2 数控编程基础	10
2.1 数控编程的内容与方法	10
2.2 数控机床的坐标系统	12
2.3 数控加工程序的结构与格式	15
思考与练习	17

模块二 数控车削加工与编程

课题3 数控车削加工工艺与编程	18
3.1 数控车削概述	18
3.2 数控车削加工工艺分析	19
3.3 数控车削加工编程基础	24
思考与练习	27
课题4 轴类零件的加工与编程	28
任务1 阶梯轴的加工与编程	28
任务2 外圆锥面的加工与编程	34
任务3 外成形面的加工与编程	39
任务4 车槽、切断加工与编程	50
任务5 普通螺纹的加工与编程	54
思考与练习	63
课题5 套类零件的加工与编程	65
任务1 直通孔的加工与编程	65

任务2 台阶孔的加工与编程	70
任务3 数控车削加工与编程综合实例	74
思考与练习	81
课题6 SIEMENS 802S 系统数控车削加工与编程	82
6.1 系统功能	82
6.2 基本编程指令	83

模块三 数控铣削及加工中心加工与编程

课题7 数控铣床及其编程基础	93
7.1 数控铣床概述	93
7.2 数控铣削加工编程基础	95
思考与练习	96
课题8 数控铣削加工工艺性分析	97
8.1 数控铣削加工工序的划分与设计	97
8.2 数控铣削零件及其毛坯的工艺性分析	98
8.3 数控铣削工件的装夹	100
8.4 数控铣削加工工序和走刀路线的确定	102
8.5 数控铣削刀具与刀位点的确定	106
8.6 数控铣削切削用量的确定	110
思考与练习	115
课题9 平面类零件的加工与编程	116
任务1 平面的加工与编程	116
任务2 外形轮廓的加工与编程	123
任务3 型腔的加工与编程	132
思考与练习	140
课题10 孔和螺纹的加工与编程	143
任务1 孔的加工与编程	143
任务2 螺纹的加工与编程	162
思考与练习	166
课题11 数控铣削加工与编程综合实例	168
11.1 任务引入	168
11.2 工艺知识	168
11.3 编程指令	169
11.4 任务实施	169
思考与练习	172
课题12 加工中心加工与编程	173
12.1 加工中心概述	173
12.2 加工中心加工与编程综合实例	177
思考与练习	189

模块四 数控机床的操作

课题 13 SIEMENS 系统数控机床的操作	191
13.1 SIEMENS 802S/c 系统的操作面板	191
13.2 SIEMENS 802S/c 系统数控机床的基本操作	194
13.3 SIEMENS 802S/c 系统数控加工与编程综合实例	199
课题 14 华中 HNC 系统数控机床的操作	208
14.1 华中 HNC 系统的操作面板	208
14.2 华中 HNC 系统数控机床的基本操作	213
14.3 华中 HNC 系统数控加工与编程综合实例	233
参考文献	237

模块一

数控加工基础

课题1 数控机床

1.1 数控技术概述

随着数控技术的发展,数控机床不仅在宇航、造船、军工等领域广泛使用,而且进入了汽车、机床等制造行业。目前,在制造行业中,单件、小批量的生产所占有的比例越来越大,机电产品的精度和质量也在不断地提高,普通机床越来越难以满足精密零件加工的需要。同时,由于生产水平的提高,数控机床的价格在不断下降。因此,数控机床在制造行业中的使用已很普遍。

1.1.1 数字控制及数控机床的概念

数字控制(Numerical Control, NC)技术是指用数字化信号对机床的运行过程及加工过程实行控制的自动化控制技术。控制对象可以是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量,这些量的大小不仅可以被测量,而且可以经A/D或D/A转换器转换,用数字信号来表示。数控加工技术是20世纪40年代后期发展起来的一种自动控制技术,是机械加工现代化的重要基础与关键技术。

数字控制机床是具有数字程序控制系统的机床,简称数控机床。机床数字控制技术是把零件的加工尺寸和各种要求用代码化的数字表示后输入数控装置或控制计算机中,经过处理与计算后发出各种控制信号,使机床的运动及加工过程在程序控制下有步骤地进行,并将零件自动加工出来的技术。

1.1.2 数控机床的产生

1948年美国帕森斯公司受美国空军委托,为了精确地制造直升机的机翼、桨叶和飞机



框架,提出了用计算机控制机床来加工形状复杂零件的设想。1949年该公司与麻省理工学院伺服机构研究所合作,开始了三坐标铣床的数控化研究工作,于1952年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式数控铣床。经过3年的试用和改进,于1955年进入实用化阶段。此后,德国、英国、日本和苏联等国也开始了数控机床的研制开发工作。1959年,美国克耐·杜列克公司开发出了具有刀具库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个侧面进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、铣削等多种加工,不仅提高了生产效率,而且使加工精度大大提高。这类带有刀具库和自动换刀装置的数控机床称为加工中心(Computerized Numerical Control Machine, CNC),它已成为当今数控机床发展的主流。由于当时控制计算机价格昂贵,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)。随着计算机技术的发展,小型计算机价格急剧下降,开始取代专用控制的硬件逻辑数控系统,数字控制的许多功能由软件程序实现,出现了由计算机作控制单元的数控系统(Computer Numerical Control, CNC)。

1974年,美国、日本等研制出以微处理器为核心的数控系统的数控机床。由于中、大规模集成电路的集成度和可靠性高、价格低廉,因此微处理器数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛应用。这就是微机数控系统(Microcomputer Numerical Control System, MNCS)。

20世纪80年代初,国际上又出现了柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)。柔性制造单元FMC和柔性制造系统FMS被认为是实现计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)的必经阶段和基础。

1.1.3 我国数控技术发展现状及趋势

我国1958年开始研制数控机床,由清华大学研制出了最早的样机。1966年我国诞生了第一台用于直线和圆弧插补的晶体管数控系统。1970年集成电路数控系统制造成功,但是由于历史原因,数控机床发展很慢,品种和数量都很少,稳定性和可靠性也比较差,只是一些复杂的、特殊的零件加工中使用。

从20世纪70年代开始,数控技术在车、铣、钻、镗、磨等加工领域全面展开,数控加工中心在上海、北京研制成功。但由于电子元器件的质量和制造工艺水平差,数控系统的可靠性、稳定性问题未得到解决,而不能广泛推广。直到20世纪80年代,我国先后从日本、美国等国家引进了一些先进的数控系统和直流伺服电动机、直流主轴电动机技术,并进行了商品化生产。这些系统可靠性高、稳定性好、功能齐全,推动了我国数控机床的发展,使我国数控机床在质量、性能及水平上有了一个飞跃。到1985年,我国数控机床的品种累计达80多种,进入了实用阶段。

1986~1990年是我国数控机床大发展的时期。在这个期间,我国实施了重点科技攻关项目“柔性制造系统技术及设备开发研究”以及重点科技开发项目“数控机床引进技术消化吸收”,推动了数控机床技术的迅速发展。目前,我国数控系统主要生产企业有20家。2006年我国数控系统的市场销量约为11万套,其中国产数控机床销售达到7万多台。同时通过自主研发,我国在数控系统的开发和生产上取得了明显进展。如华中数控、航天数控、蓝天数控等企业先后开展了开放式数控系统体系结构和软硬件平台的研究,并在研制的开放式平台上派生了多种数控系统,打破了工业发达国家对我国的技术封锁和价格垄

断。

从研制出第一台数控机床到现在的几十年中,数控技术迅猛发展。当前,数控技术的发展呈现以下趋势。

1. 高速高效、高精度、高可靠性

(1) 高速高效:机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可以大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且可以提高零件的表面加工质量和精度。

(2) 高精度:从精密加工发展到超精密加工是机械加工的发展方向之一。超精密加工一般是指精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级的机械加工。

(3) 高可靠性: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,但不是可靠性越高越好,此指标要受性能价格比的约束。

2. 模块化、专门化与个性化、智能化、柔性化和集成化

(1) 模块化、专门化与个性化:机床结构模块化、数控功能专门化,使机床的性能价格比显著提高并加快优化。个性化也是近几年来特别明显的发展趋势。

(2) 智能化:包含在数控系统的各个方面。例如:追求加工效率和加工质量方面的智能化;提高驱动性能及使用连接方便方面的智能化;简化编程、简化操作方面的智能化;诊断、监控方面的智能化,方便系统的诊断及维修等。

(3) 柔性化和集成化:柔性自动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,是各国制造业发展的主流趋势,也是先进制造领域的基础技术。

3. 开放性 为适应数控进线、联网、普及型、个性化、多品种、小批量、柔性化及数控技术迅速发展的要求,NC 控制器正在向更公开、透明的方向发展,以便满足机床制造商和用户的要求。

4. 对新数控加工工艺与装备提出了更高要求 为适应制造自动化的发展,数控系统不仅要实现通常的加工功能,而且要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能。

1.2 数控机床的工作原理、组成与分类

1.2.1 数控机床的工作原理

数控机床是一种高度自动化的机床,在加工工艺与加工表面形成方法上和普通机床基本相同,最根本的不同在于实现自动化控制的原理与方法上:数控机床是用数字化的信息来实现自动控制的。

在普通机床上加工零件是由操作者根据零件图的要求,不断改变刀具与工件之间相对运动轨迹;由刀具对工件进行切削而加工出来的。而在数控机床上加工零件时,首先将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化。先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数、刀具参数;再按数控机床规定采用的代码和程序格式,将与加工零件有关的信息,如工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、切削进给量、背吃刀量)以及辅助操作(换刀、主轴的正转与反转、切削液的开与关)等编制成数控加工程序;然后将程序输入到数控装置中,经数控装置分析处理后,向伺服系统发出执行指令,由伺服系统驱动机床移动部件运动,从而自动完成零件的加工。图 1-1 所示为数控机床的工作过程。

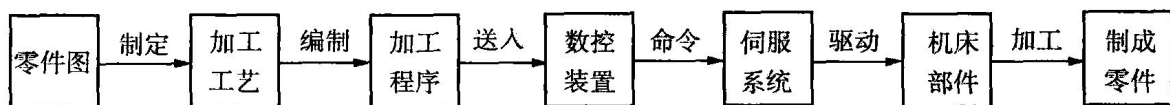


图 1-1 数控机床的工作过程

1.2.2 数控机床的基本组成

数控机床是典型的机电一体化产品，是集现代制造技术、自动控制技术、检测技术、计算机信息技术于一体的高效率、高精度、高柔性和高自动化的现代机械加工设备。数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。

1. 加工程序载体 数控机床工作时不需要工人直接去操作机床。要对数控机床进行控制，必须编制加工程序。零件加工程序包含机床上刀具和工件的相对运动轨迹，工艺参数（如进给量、主轴转速等），以及辅助运动等内容。将零件加工程序用一定的格式和代码存储在一种程序载体上，如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等，并通过数控机床的输入装置将程序信息输入到数控装置。

2. 数控装置 数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用计算机数字控制（Computer Numerical Control, CNC）形式，这种 CNC 装置一般使用多个微处理器，以程序化的软件形式实现数控功能，因此又称为软件数控（Software NC）。CNC 系统是一种位置控制系统，它根据输入数据插补出理想的运动轨迹，输出到执行部件，从而加工出所需要的零件。因此，数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。

（1）输入装置：根据程序载体的不同，相应地有不同的输入装置。目前，数控加工程序输入形式主要有键盘输入、磁盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC（直接数控）输入，以及部分数控系统仍保留的光电阅读机纸带输入。

1) 纸带输入方式：可用纸带光电阅读机读入零件加工程序，直接控制机床运动；也可以将纸带内容读入存储器，用存储器中储存的零件加工程序控制机床运动。

2) MDI 手动数据输入方式：操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令，它适用于比较简短的加工程序。

在控制装置编辑状态下，用软盘输入加工程序，并存入控制装置的存储器中。这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

在具有会话编程功能的数控装置上，可按照显示器上提示的问题选择不同的菜单，用人机对话的方法输入有关的尺寸数字就可自动生成加工程序。

3) 直接数控（Direct Numerical Control, DNC）输入方式：把零件加工程序保存在上级计算机中，CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 输入方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件加工程序的场合。

（2）信息处理：输入装置将加工信息传递给 CNC 单元，编译成计算机能识别的信息，由信息处理部分按照控制程序的规定逐步存储并进行处理，并通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 系统的输入信息包括零件的轮廓信息（起点、终点、直线、圆弧等）、加工速度及其他辅助加工信息（如换刀、变速、冷却液开关等），还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。信息处理的目的是完成插补运算前

的准备工作。

(3) 输出装置: 输出装置与伺服机构相连接。输出装置根据控制器的命令接受运算器的输出脉冲, 并把它送到各坐标的伺服控制系统, 经过功率放大驱动伺服系统, 从而控制机床按规定要求运动。

3. 伺服系统和测量反馈系统 伺服系统是数控机床的重要组成部分, 用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统接受来自数控装置的指令信息, 经功率放大、整形处理后转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节, 其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标。因此, 数控机床的伺服驱动装置要求具有良好的快速反应性能, 准确而灵敏地跟踪执行数控装置发出的数字指令信号, 提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中, 数控装置对反馈的实际位移值与指令值进行比较, 并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

4. 机床主体 机床主机是数控机床的主体。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。

5. 数控机床的辅助装置 辅助装置是保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置。常用的辅助装置包括气动、液压装置, 排屑装置, 冷却、润滑装置, 回转工作台和数控分度头, 防护、照明装置等。

1.2.3 数控机床的分类

目前, 数控机床品种已经基本齐全, 规格繁多, 可以按照多种原则来进行分类。但归纳起来, 常见的是按下面几种方法来分类的。

1. 按数控机床的运动轨迹分类 按照能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹, 数控机床可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床: 它在刀具相对工件的移动过程中只控制从一点到另一点位置的精确定位, 而不控制移动轨迹, 在移动和定位过程中不进行任何加工。因此, 为了减少定位时间, 通常先以高速移动接近定位点, 然后以低速准确移动到定位点, 以保证定位精度。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机等。图1-2所示为点位控制钻孔加工。由图可知, 从第一个孔到第二个孔, 刀具不同的运动轨迹都能满足钻孔的要求。

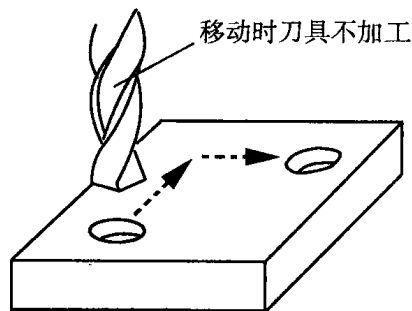


图1-2 点位控制钻孔加工

(2) 直线控制数控机床: 也称为点位直线控制机床, 其特点是机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确定位, 而且要控制

工作台以给定的速度沿平行坐标轴方向进行直线切削加工运动（有些还可以进行 45° 斜率直线加工）。这类机床主要有简易数控车床、数控磨床、数控镗铣床等。图 1-3 所示为直线控制铣削加工。

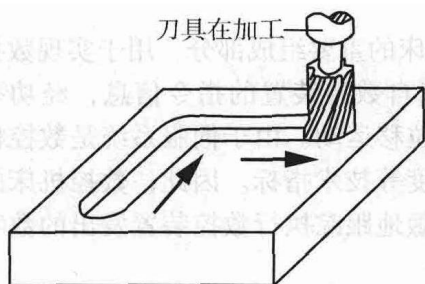


图 1-3 直线控制钻孔加工



图 1-4 轮廓控制铣削加工

（3）轮廓控制数控机床：轮廓控制机床同时对两个或两个以上坐标轴进行控制。它不仅要控制机床移动部件的起点和终点坐标，而且要控制加工过程中每一点的速度、方向和位移量，其运动轨迹是任意的直线、圆弧、螺旋线等。因此，轮廓控制也称连续控制，大多数数控机床都具有轮廓控制功能，如数控车床、数控铣床、加工中心等。图 1-4 所示为轮廓控制铣削加工。

2. 按伺服系统的控制方式分类 按照机床伺服系统的控制方式，数控机床可分为开环控制数控机床、闭环控制数控机床、半闭环控制数控机床。

（1）开环控制数控机床：其控制系统不带反馈装置，执行机构常采用功率步进电动机或液压冲电动机。数控装置发出的脉冲指令通过步进驱动电路，使步进电动机转过相应的步距角，再经过传动系统带动工作台或刀架移动。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率和数量决定的。这类机床的控制精度主要取决于传动链及步进电动机本身，故控制精度不高。但由于结构简单、工作稳定可靠、调试维修方便、价格低廉，它仍被广泛应用在经济型数控机床及旧机床的数控化改造上。图 1-5 所示为开环数控系统的结构。

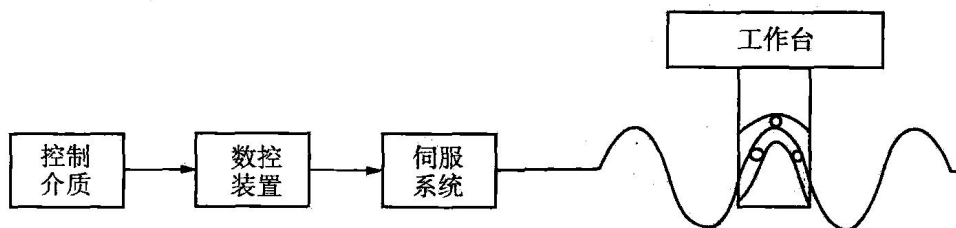


图 1-5 开环数控系统的结构

（2）闭环控制数控机床：在其移动部件上直接安装直线位移检测装置（如直线光栅等），将测量的实际位移量反馈到数控机床信息处理部分，与输入的指定位移量进行比较，用比较的差值对机床移动部件进行控制，直到差值消除为止，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位，从而使加工精度大大提高。图 1-6 所示为闭环数控系统的结构。

闭环控制系统能达到的精度很高，但其电动机的控制电路比较复杂，直线位移检测元器件价格昂贵，调试维修工作比较复杂，价格也较高，主要用于一些精度要求很高的镗铣

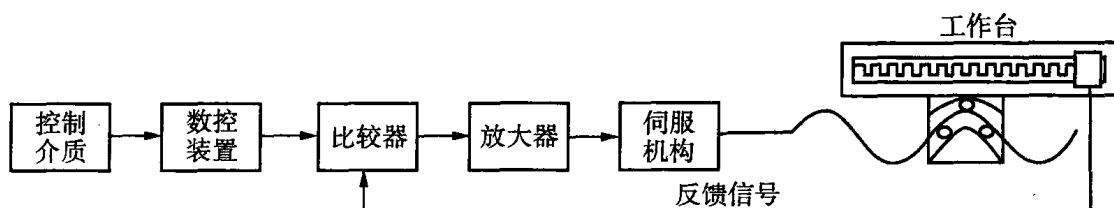


图 1-6 闭环数控系统的结构

床、超精车床、超精铣床和大型的精密加工中心等。

(3) 半闭环控制数控机床：其伺服电动机轴或数控机床的传动丝杠上装有角度检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的角位移间接地检测移动部件的实际位移量，并反馈到数控装置中，与输入的指定位移量进行比较，用比较的差值对机床进行控制。由于反馈环内没有包含传动丝杠，其传动误差照样会影响工作台的位移精度，故称为半闭环控制。图 1-7 所示为半闭环数控系统的结构。

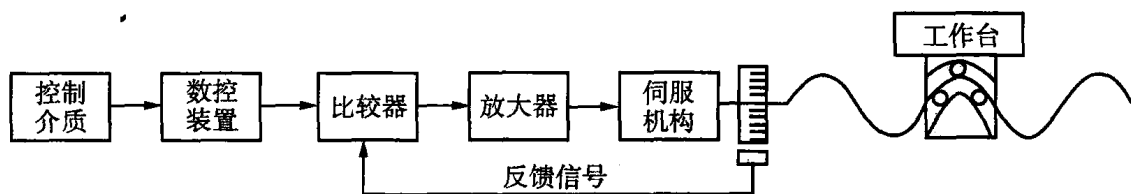


图 1-7 半闭环数控系统的结构

半闭环控制系统的精度没有闭环控制系统高，但调试比较方便、稳定性较好、价格较低，兼顾了开环控制和闭环控制两者的特点，因此应用比较普遍。

3. 按联动轴数分类 数控系统控制几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动称为坐标联动。数控机床按照联动轴数可以分为以下几大类。

(1) 两轴联动数控机床：能同时控制两个坐标轴联动，适用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

(2) 两轴半联动数控机床：在两个坐标轴的基础上增加了 Z 轴的移动，当机床坐标系的 X 、 Y 轴固定时 Z 轴可以作周期性进给。两轴半联动数控机床可以实现分层加工。

(3) 三轴联动数控机床：能同时控制三个坐标轴的联动，适用于一般曲面的加工。一般的型腔模具均可以用三轴联动数控机床加工完成。

(4) 多轴联动数控机床：能同时控制四个以上坐标轴的联动。多坐标轴联动数控机床结构复杂、精度要求高、程序编制复杂，适用于加工形状复杂的零件，如叶轮、叶片类零件。通常三轴联动数控机床可以实现两轴、两轴半、三轴加工，五轴联动数控机床也可以只用到三轴联动加工而其他两轴不联动。

4. 按加工工艺类型分类 根据机床加工工艺类型的不同，数控机床可以分为以下几类。

(1) 金属切削类数控机床

1) 普通型数控机床：这类数控机床和普通机床一样，采用了车、铣、钻、镗、磨等各种切削工艺，如数控车床、数控铣床、数控磨床和数控齿轮加工机床等。这类机床有很