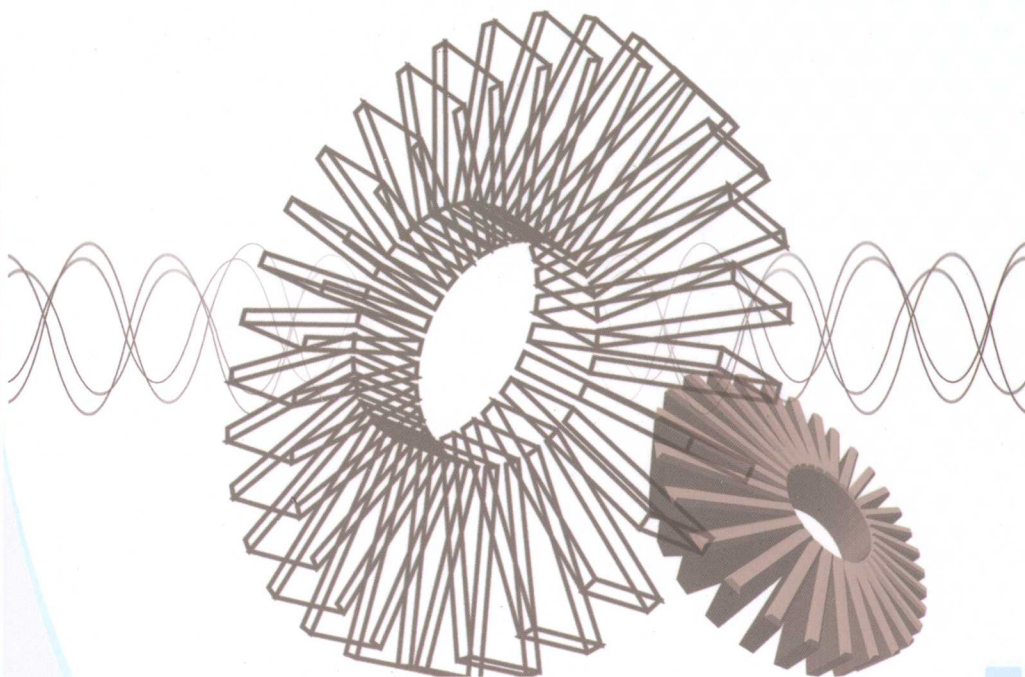




高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材

数控机床 操作与编程

申晓龙 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材

数控机床操作与编程

主 编 申晓龙

副主编 龙 华 刘瑞已

参 编 朱 赟 李平化 罗永新 张来希

刘才志 易守华

主 审 董建国

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书以华中、FANUC、SIEMENS 三大主流数控系统为例,介绍数控机床的各种常用编程指令与操作规程。

本书共分 8 章:数控技术概论、数控加工编程基础、数控编程常用指令、数控车床编程与加工操作、数控铣床编程与加工操作、数控加工中心编程与加工操作、数控线切割编程与加工操作、自动编程简介。

本书注重培养学生数控加工实践能力,在讲述基本理论的基础上,给出大量实例与加工程序,具有很强的针对性和实用性。每章后均附有思考与练习题。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校数控技术专业、机电一体化、模具设计与制造等专业的教材,也可作为数控技术职业鉴定的培训教材,或供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床操作与编程/申晓龙主编. —北京:机械工业出版社, 2008.3

高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材

ISBN 978-7-111-23330-5

I. 数… II. 申… III. ①数控机床—操作—高等学校:技术学校—教材②数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 008772 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:王海峰 责任编辑:王海峰 李欣欣

版式设计:冉晓华 责任校对:张晓蓉

封面设计:马精明 责任印制:李妍

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.75 印张·315 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-23330-5

定价:21.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

由于当今世界各国制造业中广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,故社会上急需培养大批能熟练掌握数控机床编程与操作技能的人才,加速培养技能型紧缺人才已成为当务之急。本书是根据“十一五”高等职业教育的发展和有关数控技能型紧缺人才培养方案的指导思想,结合作者多年的教学经验,在查阅国内外大量资料的基础上编写的。

为了适应高等职业教育对人才培养的需求,立足新形势下企业对高等技术应用型人才的要求,本书注重理论教学与实践操作相结合,加强岗位技能的培养,将必要的知识点融于技能培养的过程中,注重实践性教学,重点突出“实用”。

本书以华中、FANUC、SIEMENS 三大主流数控系统为例,介绍数控机床的各种常用编程指令与操作规程。全书注重培养学生数控加工实践能力,文字叙述力求简练清晰,配以大量的零件加工实例,使内容具体、直观易懂,便于学习、实践和操作训练,是一本内容新颖、实例丰富、深入浅出、系统性强、有较高实用价值的教材。

全书共分 8 章:数控技术概论、数控加工编程基础、数控编程常用指令、数控车床编程与加工操作、数控铣床编程与加工操作、数控加工中心编程与加工操作、数控线切割编程与加工操作、自动编程简介。

本书第 1 章由湖南工业职业技术学院申晓龙编写,第 2 章由长沙环保职业技术学院朱赞编写,第 3 章由湖南工业职业技术学院龙华编写,第 4 章由湖南航天教育集团刘才志编写,第 5 章由湖南航天教育集团易守华编写,第 6 章由湖南工业职业技术学院李平化编写,第 7 章由湖南工业职业技术学院刘瑞已和罗永新编写,第 8 章由湖南工业职业技术学院申晓龙和张来希编写。全书由申晓龙副教授担任主编,湖南工业职业技术学院董建国教授担任主审。

本书在编写过程中得到了湖南工业职业技术学院数控中心教师们的大力支持,在此表示感谢。

由于编者水平和经验有限,书中难免存在不足或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	2.2.4 工件坐标系	32
第1章 数控技术概论	2.3 刀具补偿的概念	33
1.1 数控技术的发展	2.3.1 刀位点	33
1.1.1 数控机床的产生	2.3.2 位置补偿	33
1.1.2 我国数控技术的发展概况	2.4 数控加工工艺分析	34
1.1.3 数控技术的发展趋势	2.4.1 加工方法的选择	34
1.2 数控机床的工作原理及基本组成	2.4.2 加工工序的编排原则	36
1.2.1 数控机床的工作原理	2.4.3 工件的装夹	36
1.2.2 数控机床的基本组成	2.4.4 对刀点和换刀点位置的确定	37
1.3 数控机床的分类	2.4.5 加工路线的确定	38
1.3.1 按工艺用途分类	2.4.6 刀具及切削用量的选择	40
1.3.2 按机床运动轨迹分类	2.5 数控加工程序的格式及编程方法	46
1.3.3 按伺服控制方式分类	2.5.1 程序的结构	46
1.3.4 按数控系统的功能水平分类	2.5.2 程序的格式	47
1.4 数控加工的特点和应用范围	2.5.3 主程序和子程序	47
1.4.1 数控加工的特点	2.5.4 常用地址符及其含义	48
1.4.2 数控加工的应用范围	2.5.5 数控程序的编制方法及步骤	49
1.5 典型数控系统简介	学习小结	51
1.5.1 FANUC 公司的主要数控系统	思考与练习题	51
1.5.2 SIEMENS 公司的主要数控系统	第3章 数控编程常用指令	52
1.5.3 FAGOR 公司的数控系统	3.1 概述	52
1.5.4 国产数控系统	3.2 与坐标和坐标系有关的指令	52
学习小结	3.2.1 工件坐标系设定指令(G92)	52
思考与练习题	3.2.2 工件坐标系选择指令 (G54~G59)	52
第2章 数控加工编程基础	3.2.3 绝对尺寸与增量尺寸指令 (G90、G91)	53
2.1 插补的基本知识	3.3 运动路径控制指令	54
2.1.1 插补的基本概念	3.3.1 单位设定指令	54
2.1.2 常用的插补方法	3.3.2 快速点定位指令(G00)	54
2.2 数控机床坐标系	3.3.3 直线插补指令(G01)	55
2.2.1 机床坐标系及运动方向	3.3.4 圆弧插补指令(G02、G03)	55
2.2.2 绝对坐标与增量坐标	3.3.5 暂停指令(G04)	57
2.2.3 机床原点与编程原点		

3.4 辅助功能及其他功能指令	57	5.2 数控铣床加工的刀具补偿及 其他功能指令	103
3.4.1 辅助功能指令(M指令)	58	5.2.1 刀具半径补偿指令 (G40,G41,G42)	103
3.4.2 刀具功能指令(T指令)	59	5.2.2 刀具长度补偿指令 (G43,G44,G49)	108
3.4.3 进给功能指令(F指令)	59	5.2.3 其他功能指令	110
3.4.4 主轴转速功能指令(S指令)	59	5.3 固定循环	113
3.5 不同数控系统功能的比较	59	5.3.1 概述	113
学习小结	64	5.3.2 钻孔循环	115
思考与练习题	64	5.3.3 镗孔循环	116
第4章 数控车床编程与加工操作	65	5.3.4 攻螺纹	118
4.1 概述	65	5.3.5 固定循环指令编程举例	119
4.1.1 数控车削加工的对象	65	5.4 CNC系统高级编程方法	120
4.1.2 数控车床的编程要点	65	5.4.1 镜像功能指令 (G51.1,G50.1)	120
4.1.3 编程规则	66	5.4.2 缩放功能指令(G51/G50)	121
4.1.4 数控车削加工的基本工艺问题	67	5.4.3 旋转变换指令(G68/G69)	123
4.2 数控车床的刀具补偿	68	5.4.4 用户宏程序	125
4.2.1 刀具位置补偿	68	5.5 数控铣床的操作	134
4.2.2 刀尖圆弧半径补偿	70	5.5.1 数控铣床的控制面板及 操作面板	134
4.2.3 刀具半径补偿的实现及 参数的输入	73	5.5.2 手动操作	138
4.3 车削固定循环与子程序	73	5.5.3 MDI操作	138
4.3.1 单一形状固定循环	73	5.5.4 坐标数据设定	139
4.3.2 复合固定循环	77	5.5.5 参数设定	139
4.3.3 螺纹切削循环	81	5.6 数控铣床加工编程综合实例	140
4.3.4 子程序	87	学习小结	146
4.4 数控车床的操作	89	思考与练习题	146
4.4.1 华中世纪星数控车床的 操作面板	89	第6章 数控加工中心编程与 加工操作	149
4.4.2 回零、手动和步进操作	91	6.1 加工中心的特点	149
4.4.3 对刀及刀具补偿参数的设置	93	6.1.1 加工中心的加工特点	149
4.5 数控车床加工编程综合实例	97	6.1.2 加工中心程序的编制特点	149
学习小结	99	6.1.3 加工中心的主要加工对象	150
思考与练习题	100	6.1.4 加工中心的换刀形式	150
第5章 数控铣床编程与加工操作	102	6.2 加工中心的换刀程序	152
5.1 数控铣床的加工特点	102		
5.1.1 数控铣床的加工对象	102		
5.1.2 数控铣床的加工特点	103		
5.1.3 数控铣床编程时应 注意的问题	103		

6.2.1	加工中心的主轴准停	152
6.2.2	换刀程序	152
6.3	加工中心的操作	153
6.3.1	加工中心的控制面板及 操作面板	153
6.3.2	刀具装夹	154
6.3.3	刀具参数的输入	155
6.3.4	操作要点	155
6.4	加工中心编程综合实例	156
	学习小结	160
	思考与练习题	160
第7章	数控线切割编程与加工操作 ..	161
7.1	概述	161
7.1.1	数控电火花线切割的 加工原理	161
7.1.2	数控电火花线切割加工特点	162
7.1.3	数控电火花线切割的应用	162
7.2	数控电火花线切割工艺与 工装基础	162
7.2.1	线切割加工的主要工艺指标及 影响因素	162
7.2.2	电火花线切割典型 夹具及工件装夹	166
7.3	线切割编程	167
7.3.1	3B 格式程序编制	168
7.3.2	4B 格式程序编制	170

7.3.3	ISO 格式程序编程	173
7.4	综合编程实例与加工操作	174
7.4.1	数控线切割机床基本操作 步骤	174
7.4.2	典型零件的线切割加工实例	176
	学习小结	178
	思考与练习题	178

第8章 自动编程技术

8.1	自动编程技术简介	179
8.1.1	CAD/CAM 基础知识	179
8.1.2	CAD/CAM 编程的基本过程	180
8.1.3	CAD/CAM 软件分类	180
8.2	典型 CAD/CAM 软件简介	181
8.2.1	Master CAM 软件	181
8.2.2	Pro/Engineer 软件	183
8.2.3	Solid Works 软件	184
8.2.4	CAXA 制造工程师软件	184
8.3	自动编程实例	185
8.3.1	实体造型	185
8.3.2	轨迹生成	189
8.3.3	模拟加工	192
8.3.4	后置处理和通信	193
	学习小结	197

参考文献

1	数控线切割加工技术	198
2	数控线切割加工技术	198
3	数控线切割加工技术	198
4	数控线切割加工技术	198
5	数控线切割加工技术	198
6	数控线切割加工技术	198
7	数控线切割加工技术	198
8	数控线切割加工技术	198
9	数控线切割加工技术	198
10	数控线切割加工技术	198
11	数控线切割加工技术	198
12	数控线切割加工技术	198
13	数控线切割加工技术	198
14	数控线切割加工技术	198
15	数控线切割加工技术	198
16	数控线切割加工技术	198
17	数控线切割加工技术	198
18	数控线切割加工技术	198
19	数控线切割加工技术	198
20	数控线切割加工技术	198

第1章 数控技术概论

学习导论

本章主要介绍数控机床的发展过程和趋势,数控机床的工作原理、组成及分类,数控机床的基本概念,数控加工的特点和应用范围,以及常见典型的数控系统产品。

重点掌握数控机床的工作原理及组成,点位、直线、轮廓控制数控机床的特点,开环、半闭环、全闭环控制数控系统组成特点。

1.1 数控技术的发展

20 世纪人类社会最伟大的科技成果是计算机的发明与应用,计算机及控制在机械制造设备中的应用是世纪内制造业发展的最重大的技术进步。自从 1952 年美国第一台数控铣床问世,至今已经历了 50 多个年头,数控机床(Numerical Control Machine Tools)是用数字代码形式的信息(程序指令),控制刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床。

1.1.1 数控机床的产生

1948 年,美国 Parsons 公司接受美国空军委托,研制直升飞机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于样板形状复杂多样、精度要求高,用一般加工设备难以完成,于是产生了采用数字脉冲控制机床的设想。1949 年,该公司与美国麻省理工学院(MIT)开始共同研究此课题,并于 1952 年试制成功第一台三坐标数控铣床,它标志着第一代数控机床——电子管数控机床的诞生。

20 世纪 50 年代末,数控装置采用了完全由固定布线的晶体管器件电路,并出现带自动换刀装置的数控机床,称为加工中心(MC, Machining Center),标志着数控装置的发展进入了第二代。

随着数控机床的发展,应用者对数控机床的实用性、柔性、易维修性、控制装置的功能环境及对任意机床类型的适应性等方面的要求不断提高,要满足这些要求,对固定布线的晶体管器件电路所组成晶体管数控机床而言,将耗资巨大。1965 年,出现了第三代集成电路数控装置,不仅体积小,功率消耗少,且可靠性提高,价格进一步下降,这促进了数控机床品种和产量的发展。

以上三代为数控机床发展的第一阶段,称为 NC 阶段,即逻辑数字控制阶段,其特点是数控系统的所有功能均由硬件(数控装置)实现,故又称为硬件数控。

1969 年,出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称 DNC),又称群控系统。采用小型计算机控制的计算机数控系统(简称 CNC),使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。1974 年,研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(简称 MNC),这是第五代数控系统,经过几年的发展,数控机床的性能和可靠性均

得到了很大提高。自 20 世纪 70 年代末到 80 年代, 数控技术在全世界得到了大规模的发展和应⽤, 随着计算机软、硬件技术的发展, 出现了能进⾏⼈机对话式自动编制程序的数控装置, 数控装置趋向小型化, 可以直接安装在机床上。从 90 年代开始, PC 机的发展日新月异, 基于 PC 平台的数控系统(称为 PC 数控系统)应运而生, 使数控机床的发展进⼊第六代。

20 世纪 90 年代中后期, 数控机床的自动化程度进⼀步提高, 具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。出现了 PC 加 CNC 智能数控系统, 即以 PC 机为控制系统的硬件部分, 在 PC 机上安装 CNC 软件系统, 此种系统维护方便, 易于实现网络化制造。

目前, 国际上最大的数控系统生产厂是日本 FANUC(发那科)公司, 年生产数控系统产量占世界市场约 40%, 其次是德国 SIEMENS(西门子)公司, 约占 15% 以上, 再次是德国 HEIDENHAIN(海德汉尔)、西班牙 FAGOR(发格)、意大利菲地亚、法国的 NUM、日本的三菱、安川等公司。国产数控系统生产厂家主要有华中数控、北京航天机床数控集团、北京凯恩帝、北京凯奇、沈阳艺天、广州数控、南京新方达、成都广泰等。

1.1.2 我国数控技术的发展概况

1958 年, 我国开始研究数控机械加工技术, 60 年代针对壁锥、非圆齿轮等复杂形状的工件研制出了数控壁锥铣床、数控非圆齿轮插齿机等设备, 保证了加工质量, 减小了废品率, 提高了生产效率, 取得了良好的效果。70 年代针对航空工业等加工复杂形状零件的迫切需要, 从 1973 年开始组织数控机床技术攻关, 到 1975 年已试制生产出了 40 多个品种 300 多台数控机床。我国数控机床制造业在 80 年代是高速发展的阶段, 许多机床厂从传统产品实现向数控化产品的转型。1982 年, 青海第一机床厂生产出 XHK754 卧式加工中心, 长城机床厂生产出 CK7815 数控车床, 北京机床研究所生产出 JCS018 立式加工中心, 上海机床厂生产出 H160 数控端面外圆磨床等, 并陆续形成了批量生产。

同时为了扬长避短, 解决用户急需, 并争取打入国际市场, 20 世纪 80 年代前后我国采取了暂时从国外(主要是从日本和美国)引进数控装置和伺服驱动系统为国产主机配套的方针, 几年内大见成效。1981 年, 我国从日本 FANUC 公司引进了 5、7、3 等系列的数控系统和直流伺服电动机、直流主轴电动机技术, 并在北京机床研究所建立了数控设备厂, 当年年底开始验收投产, 1982 年生产约 40 套系统, 1983 年生产约 100 套系统, 1985 年生产约 400 套系统, 伺服电动机与主轴电机也配套生产。这些系统达到国外 70 年代的水平, 功能较全, 可靠性比较高, 这样就使我国机床行业发展数控机床有了可靠的基础, 使我国的主机品种与技术水平都有了较大的发展与提高。1984 年, 北京机床研究所研制成功了 FMC—1 和 FMC—2 柔性加工单元, 之后又开始了柔性制造系统的开发工作, 并与日本 FANUC 公司合作, 在北京机床研究所内建立了第一条柔性制造系统(JCS—FMC—1 型), 用于加工直流伺服电动机的轴类、法兰盘类、刷架体类和壳体类等 14 种零件。据统计, 1984 年仅机械工业部门就生产数控机床 950 台, 全国当年总产量为 1620 台, 已有少数产品开始进⼊国际市场, 还有几种合作生产的数控机床返销国外。1985 年, 我国数控机床的品种已有了新的发展, 除了各类数控线切割机床以外, 其他各种金属切削机床(如各种规格的立式、卧式加工中心, 立式、卧式数控车床, 数控铣床, 数控磨床等)也都有了极大的发展, 总计 45 种新品种。到 1989 年底, 我国数控机床的可供品种已超过 300 种, 其中数控车床占 40%, 加工中心占 27%。

国家计委、经贸委在“八五”、“九五”时期就提出数控化改造的方针，因此承担数控化改造的企业公司大量涌现，甚至还有美国公司加入。自“九五”以来，完成数控化改造的设备达到8~10万台，得到的经济效益是投入的5~10倍以上。从1995年“九五”以后，国家扩大内需启动机床市场，加强限制进口数控设备的审批，投资重点支持关键数控系统、设备、技术攻关，这些举措对数控设备生产起到了很大的促进作用，尤其是在1999年以后，国家向国防工业及关键民用工业部门投入大量技改资金，使数控设备制造市场一派繁荣，目前我国是全世界机床拥有量最多的国家（近300万台）。“十五”期间，国防科工委在军工企业中投入6.8亿元，用于对1.2~1.8万台机床的数控化改造。

我国数控技术和数控产业取得了相当大的成绩，数控产业发展迅速，1998年~2004年国产数控机床产量和消费量的年平均增长率分别为39.3%和34.9%。特别是最近几年，我国数控系统技术方面取得了长足的发展，依靠我国科技人员的努力，我国的机床数控技术已经进入了一个新的发展时期。

1.1.3 数控技术的发展趋势

数控系统采用开放式体系结构，使数控系统控制性能大大地提高，促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展，使柔性自动化加工技术水平不断提高。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. 高速度、高效率、高精度、高可靠性

要提高加工效率，首先必须提高切削和进给速度，同时还要缩短加工时间；要确保加工质量，必须提高机床部件运动轨迹的精度，而可靠性则是上述目标的基本保证，因此，必须要有高性能的数控装置作保证。

高速加工中心进给速度可达80m/min，甚至更高，空运行速度可达100m/min左右，主轴转速已达60 000r/min。在加工精度方面，普通级数控机床的加工精度已由10 μ m提高到5 μ m，精密级加工中心则从3~5 μ m，提高到1~1.5 μ m，并且超精密加工精度已进入纳米级（0.01 μ m）。在可靠性方面，数控装置的平均无故障运行时间（MTBF）已达6 000h以上，伺服系统的MTBF值达到30 000h以上，表现出非常高的可靠性。

2. 模块化、智能化、柔性化和集成化

为了适应数控机床多品种、小批量的特点，机床结构模块化，数控功能专门化，机床性能价格比显著提高并加快优化。数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与CAD、CAM、CAPP软件连接，向信息集成方向发展，网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

3. 开放性

设计生产开放式体系结构的数控系统，逐步成为多品种、小批量、柔性化数控生产迅速发展的要求。

4. 出现新一代数控加工工艺与装备

FMC、FMS和CIMS设备要求数字控制制造系统具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头（有时带坐标变换）、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能，这开拓了数控机床发展的新领域。

新一代智能化数控系统将计算机智能技术、网络技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体，形成严密的制造过程

闭环控制体系。而且,并联机构机床、虚拟轴数控机床使得机械加工向虚拟制造的方向发展。

1.2 数控机床的工作原理及基本组成

1.2.1 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 1-1 所示。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的工艺过程、工艺参数和刀具参数,再进行人工编程或利用计算机编程软件自动编程,然后通过手动输入(MDI)方式或外部计算机通信(DNC)方式将数控加工程序送入数控系统,经系统处理与计算后,发出相应的指令,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。

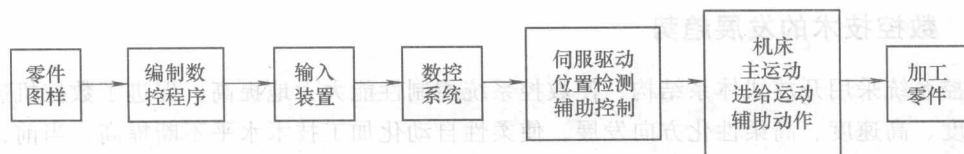


图 1-1 数控机床工作原理

通常是将编制好的数控程序存储在某种介质上,需要加工时才调用。数控程序输入到数控系统,并被调入执行程序缓冲区以后,一旦操作者按下启动按钮,程序就将逐条逐段地自动执行。数控程序的执行,实际上是不断地向伺服系统发出运动指令,数控系统在执行数控程序的同时,还要实时地进行各种运算,来决定机床运动机构的运动轨迹和速度。

1.2.2 数控机床的基本组成

数控机床的种类很多,但任何一种数控机床都是由控制介质、数控系统、伺服系统、辅助控制系统和机床本体等基本部分组成,如图 1-2 所示。

1. 程序编制及控制介质

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,要确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置、刀具与零件相对运动的尺寸参数、零件加工的工艺路线或加工顺序、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等,这样得到零件所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息,然后按数控机床规定采用的代码和程序

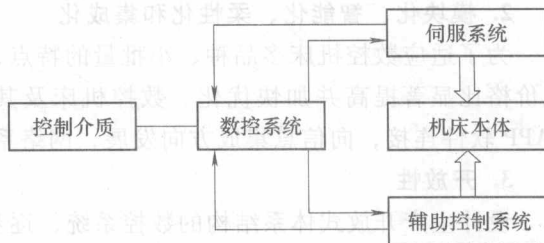


图 1-2 数控机床组成示意图

格式,将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(主轴转速、切削进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(主轴的正转与反转、换刀、切削液的开与关等)编制成数控加工程序。编程工作可分为人工编程和计算机自动编程。

控制介质就是将零件加工信息传送到数控装置中去的信息载体,在控制介质上存储着加

工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息,控制介质有穿孔纸带、磁带、磁盘和 USB 接口等信息载体。随着 CAD/CAM 技术的发展,有些数控设备利用 CAD/CAM 软件在其他计算机上编码,然后通过计算机与数控系统通信(如局域网),将程序和数据直接传送给数控装置。

2. 数控系统

数控系统是数控机床的中枢,在普通数控机床中一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控系统接收输入介质的信息,并对其代码加以识别、储存、运算,输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统,进而控制机床动作。其中最基本的控制信号是由插补运算决定的各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度指令,经伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动。在计算机数控机床中,由于计算机本身即含有运算器、控制器等单元,因此其数控系统的工作由一台计算机来完成。

3. 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动电动机组成,并与机床上的机械传动部件和执行部件组成数控机床的进给系统。伺服系统的作用是把来自数控系统的脉冲信号转换为机床移动部件的运动,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹严格地作相对运动,最后加工出符合图样要求的零件,因此伺服系统的性能是决定数控机床的加工精度、表面质量和生产率的主要因素之一。相对于每个脉冲信号,机床移动部件的位移量叫做脉冲当量(用 δ 来表示),常用的脉冲当量有 0.001mm、0.0005mm、0.0002mm。

在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件有功率步进电动机、电液脉冲电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

4. 辅助控制系统

辅助控制系统是连接数控系统和机床机械、液压部件的控制系统,其主要作用是接收数控系统输出的主运动部件变速、换向和启停信号、刀具选择和交换的指令信号、切削液及润滑液的开和关、工件和机床部件的松开和夹紧、分度工作台的转位等辅助指令信号等,经过编译、逻辑判断、功率放大后驱动相应的电气、液压、气动和机械部件,以完成指令所规定的动作,另外,行程开关和监控检测等状态信号也要经过辅助控制系统送给数控系统进行处理。

5. 机床本体

数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但其传动结构要求更为简单,在精度、刚度、抗振性、耐磨性、耐热性等方面要求更高,而且其传动和变速系统要便于实现自动控制。机床本体是数控机床的机械结构实体,主要包括主运动部件、进给运动部件(如工作台、刀架)、支承部件(如床身、立柱等),还有冷却、润滑、转位部件,如夹紧、换刀机械手等辅助装置。数控机床本体具有以下特点:

- 1) 采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。
- 2) 进给传动采用高效传动件,具有传动链短、传动精度高等特点,一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。
- 3) 在加工中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。
- 4) 机床本身具有很高的动、静刚度,采用全封闭罩壳。

对于半闭环、闭环数控机床,还带有检测反馈装置,其作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测,把检测结果转化为电信号反馈给 CNC 装置。检测反馈装置主要有感应同步器、光栅、编码器、磁栅等。

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按工艺用途分类

1. 普通数控机床

与传统的通用机床一样,按不同的工艺可分为数控车、铣、钻、镗及磨床等。机床的结构与通用机床相似,所不同的是数控机床的自动化程度高,精度高。

2. 数控加工中心

数控加工中心是带刀库和自动换刀装置的数控机床,典型的加工中心有镗铣加工中心和车削加工中心。

在加工中心上,零件经一次装夹后,可进行多种工艺、工序集中、连续加工,这样极大地减少了机床的台数。由于减少装配工件、更换和调整刀具的辅助时间,从而提高了机床的工作效率,提高了各加工面间的位置精度。

3. 多坐标轴数控机床

复杂零件的加工,需要三个以上坐标的合成才能加工出所需要的曲面形状,于是出现了多坐标联动的数控机床,现在常用的有 4、5、6 坐标联动的数控机床。

1.3.2 按机床运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制方式是指机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确移动,在移动和定位过程中不进行任何加工,机床移动部件的运动路线并不影响加工的孔距精度。数控系统只需控制行程终点的坐标值,而不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动不需要保持严格的传动联系。为了尽可能地减少移动部件的运动与定位时间,通常先快速移动到接近终点的坐标点,然后以低速准确移动到定位点,以保证有良好的定位精度。如图 1-3 所示,刀具从 A 点到 B 点可以走①、②或③中的任意一条路径。这类控制方式仅适用于数控钻床、数控点焊机、数控镗床和数控冲床等。

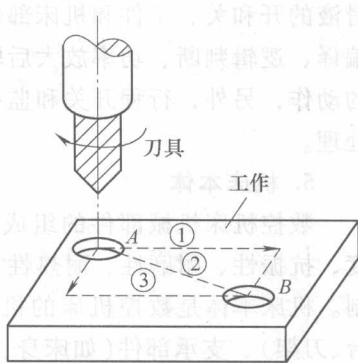


图 1-3 点位控制方式的加工

2. 直线控制数控机床

直线控制方式不仅要求控制点的准确定位,而且要沿直线轨迹(一般与某一坐标轴平行或成 45° 角)以一定速度移动,移动过程中可进行切削加工。机床具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择以及循环加工等辅助功能,加工示例如图 1-4 所示。这类控制方式仅适用于简易数控车床、数控铣床等。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床，其控制特点是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(见图 1-5)。为了使刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓，必须将各个坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来，因此，在这类控制方式中，就要求数控系统具有插补运算功能，即根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求轮廓相符。按照联动轴数，可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、多轴联动数控系统。

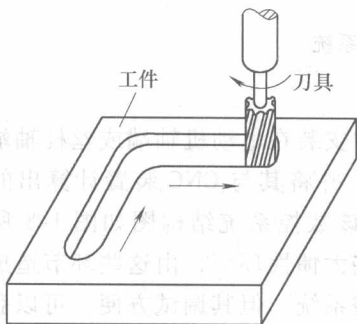


图 1-4 直线控制方式的加工

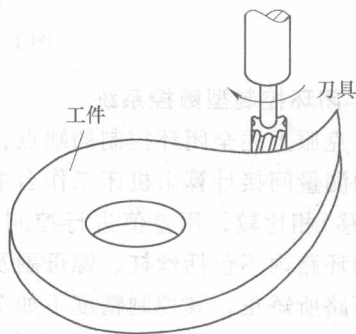


图 1-5 轮廓控制方式的加工

1.3.3 按伺服控制方式分类

1. 开环控制型数控机床

这类机床的数控系统不带检测装置，也无反馈电路，以步进电动机驱动，如图 1-6 所示。CNC 装置输出的指令进给脉冲经驱动电路进行功率放大，转换为控制步进电动机各定子绕组依次通电/断电和电流脉冲信号，驱动步进电动机转动，再经机床传动机构(齿轮箱、丝杠等)带动工作台移动。这种方式的控制简单，价格比较低廉，被广泛应用于经济型数控系统中。

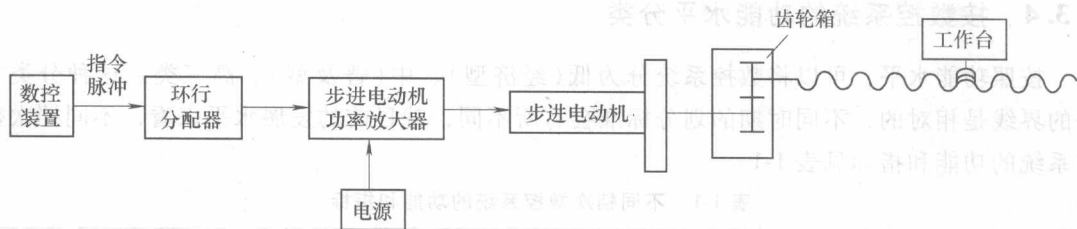


图 1-6 开环控制数控系统

2. 全闭环控制型数控机床

这类机床的数控系统带有位置检测反馈装置，以直流或交流伺服电动机驱动，位置检测元件安装在机床工作台上，用以检测机床工作台的实际运行位置(直线位移)，并将其与 CNC 装置计算出的指令位置相比较，用差值进行控制。该数控系统结构如图 1-7 所示。

这类控制方式可以消除包括工作台传动链在内的传动误差，因而位置控制精度很高，但由于它将丝杠、螺母副及机床工作台这些大惯性环节放在闭环内，调试时很难达到其系统稳

定状态。

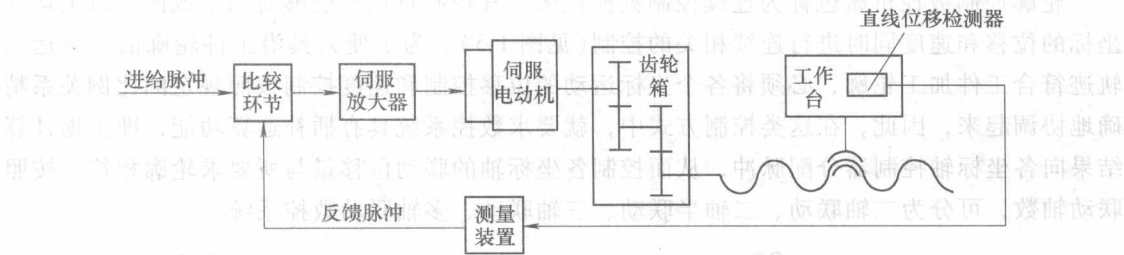


图 1-7 全闭环控制数控系统

3. 半闭环控制型数控系统

为了克服上述全闭环控制的缺点，将位置检测元件安装在电动机轴端或丝杠轴端，通过角位移的测量间接计算出机床工作台的实际运行位置，并将其与 CNC 装置计算出的指令位置(或位移)相比较，用差值进行控制，构成半闭环，该数控系统结构图如图 1-8 所示。由于闭环的环路内不包括丝杠、螺母副及机床工作台这些大惯性环节，由这些环节造成的误差不能由环路所矫正，其控制精度不如全闭环控制型数控系统，但其调试方便，可以获得比较稳定的控制特性，因此在实际应用中，这种方式被广泛采用。

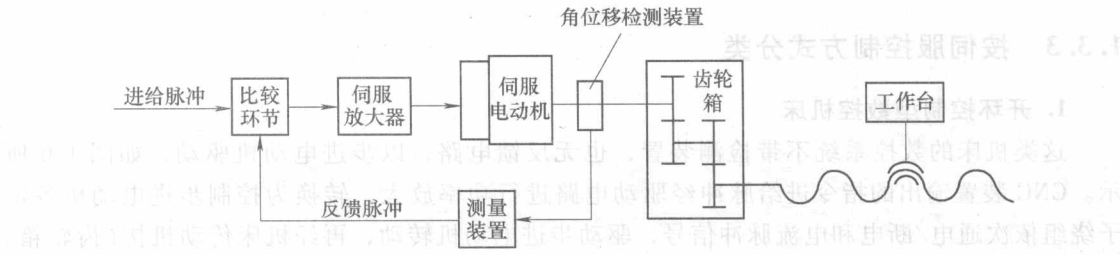


图 1-8 半闭环控制数控系统

1.3.4 按数控系统的功能水平分类

按照功能水平，可以将数控系统分为低(经济型)、中(普及型)、高三类。这种分类方法的界线是相对的，不同时期的划分标准会有所不同，就目前的发展水平来看，不同档次数控系统的功能和指标见表 1-1。

表 1-1 不同档次数控系统的功能和指标

功 能	低档(经济型)	中档(普及型)	高 档
系统分辨率/ μm	10	1	0.1
G00 速度/(m/min)	3 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 100
伺服系统	开环	半闭环	半闭环或全闭环
进给驱动元件	步进电动机	伺服电动机	伺服电动机
联动轴数	2 ~ 3 轴	2 ~ 4 轴	5 轴以上
显示功能	LED 数码管	CRT 显示	CRT: 三维图形, 自诊断
内装 PLC	无	有	功能强大的内装 PLC

(续)			
功 能	低档(经济型)	中档(普及型)	高 档
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结 构	单片机或单板机	单微处理器或多微处理器	分布式多微处理器
通信能力	无	RS232	RS232, 网络接口

1.4 数控加工的特点和应用范围

1.4.1 数控加工的特点

数控机床使用了计算机信息处理、自动控制等先进的工业技术,使得数控机床在现代制造业中具有常规机床无法比拟的优势。

1. 数控加工的优点

与其他加工设备相比,数控机床具有如下特点:

(1) 适应性强,适合加工单件或小批量复杂零件 在数控机床上加工不同形状的工件,只需要重新编制新工件的加工程序。数控机床加工工件时,只需要简单的夹具,所以改变加工工件,也不需要制作特别的工装夹具,就能实现新工件的加工。

(2) 加工精度高、产品质量稳定 数控机床使用滚动导轨及滚珠丝杠进行运动传递,目前,数控装置的脉冲当量一般都达到了 0.001mm ,而且运动执行机构的误差(如反向间隙、螺距误差等)可通过数控系统的误差补偿计算予以消除。一般数控机床的定位精度为 $\pm 0.01\text{mm}$,重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$,而且数控机床在自动化加工的过程中消除了操纵者人为因素引起的操作误差,又因为数控加工工序集中,减少了工件多次装夹对加工精度的影响,因此数控机床能够达到较高的加工精度,尺寸一致性好、产品质量稳定。

(3) 生产效率高 零件加工所需的时间包括机动时间和加工辅助时间两部分,数控机床能够有效地减少这两部分时间。数控机床在加工的过程中可以通过对主轴转速和伺服进给速度的实时调节,使数控机床的加工过程处于最佳切削状态,并且数控机床经过优化设计的高刚性结构,允许在加工过程中使用强力切削参数,有效地节省了机动时间。

数控机床在一次装夹后,可以完成同一个加工面或几个加工面多个要素的加工,减少了在普通机床上重复装夹和安装的辅助时间。数控机床自身的自动换刀系统也使更换刀具的时间大大缩短,同时减少了零件半成品的周转时间和费用,在新型的加工中心上自动换刀时间已经缩短到 0.6s 。

(4) 减轻劳动强度、改善劳动条件 数控机床的加工过程是按照事先设定好的程序自动加工完成的,工件加工过程不需要人的干预,加工完毕后自动停车,这就使工人的劳动强度极大降低,劳动条件大为改善,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工,既清洁又安全。

(5) 良好的经济效益 数控机床制造成本高、使用费用高,分摊在每个零件上的综合费用比普通机床高。但在新产品试制,单件、小批生产情况下,使用数控机床可以节省大量的工艺装备费用及辅助生产工时,加工复杂曲面的零件时,其加工精度、生产效率和零件的

成品率大大高于普通仿形机床。因此，从综合效益计算，数控机床具有更多的加工优势。

(6) 建立计算机通信网络，有利于生产管理的现代化。数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，特别是在数控机床上使用计算机控制，为计算机辅助设计、制造以及实现生产过程与控制奠定了基础。根据需要还可将统计结果通过数控系统的网络接口向更高级管理计算机发送，便于管理层能随时准确地获得生产一线资讯。

另外，数控机床通过因特网(Internet)、内联网(Intranet)、外联网(Extranet)可实现远程故障诊断及维修，已初步具备远程控制和调度、进行异地分散网络化生产的可能，从而为今后进一步实现制造过程网络化、智能化提供了必备的基础条件。

2. 数控加工的不足之处

- 1) 数控机床价格较贵，加工成本高，提高了起始阶段的投资。
- 2) 技术复杂，增加了电子设备的维护，维修困难。
- 3) 对工艺和编程要求较高，加工中难以调整，对操作人员的技术水平要求较高。

1.4.2 数控加工的应用范围

从数控机床加工的特点可以看出，数控机床加工的主要对象有：

- 1) 多品种、单件小批量生产的零件或新产品试制中的零件。
- 2) 几何形状复杂的零件。
- 3) 精度及表面粗糙度要求高的零件。
- 4) 加工过程中需要进行多工序加工的零件。
- 5) 用普通机床加工时，需要昂贵工具、夹具和模具等工装设备的零件。

由此可见，数控机床和普通机床都有各自的应用范围。如图 1-9 所示，数控机床的使用范围很广，非常适合加工几何形状复杂的零件。各种专用机床、通用机床和数控机床上加工零件批量与生产成本的关系如图 1-10 所示，采用数控机床加工生产成本更为合理。

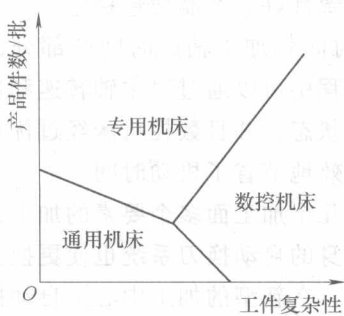


图 1-9 各种机床的使用范围比较

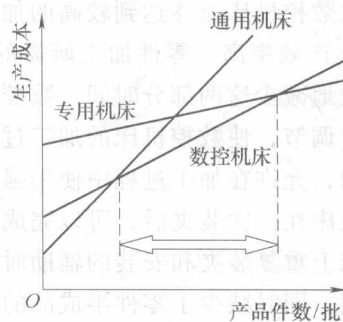


图 1-10 各种机床加工批量与生产成本的关系

1.5 典型数控系统简介

目前，社会上流行的数控系统有十多个品牌几十个品种。国外数控系统产品中，日本 FANUC、德国 SIEMENS、西班牙 FAGOR 及日本 MITSUBISHI、德国 HEIDENHAIN 等公司的数控系统产品，性能优良、功能完善、品种齐全，占有较大的市场份额。国内数控产品常见