



高等职业教育“十一五”规划教材
工作过程导向型教材

数控加工 编程与操作



主 编 陈江进 雷黎明
副主编 杨纯海 蔡明富 周 军

本书配有
电子课件



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书以培养学生的数控编程及实际操作能力为核心,以工作过程为导向,以华中数控系统为主,FANUC 数控系统为辅,详细介绍了数控车、铣、加工中心、线切割的工艺分析、编程指令及宇龙数控仿真软件的操作等内容。

本书共设 10 个项目,其中数控车床 4 个项目、数控铣床及加工中心 5 个项目、数控电火花线切割 1 个项目。内容按照由简单到复杂的零件层层递进,每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、知识拓展、小结、自测题 6 部分组成。每个项目都涵盖了具体的编程及操作步骤,为学生自学创造了条件。

本书可作为高等职业技术学院数控专业、机械制造专业、模具设计与制造等专业的教学用书,也可作为企业有关工种职工的培训教材,还可作为从事数控加工的工程技术人员参考用书。为方便老师教学,本书提供电子课件,请发邮件至 xysong@ndip.cn 索取。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与操作/陈江进,雷黎明主编.—北京:国防工业出版社,2010.1
高等职业教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-06608-1

I. ①数... II. ①陈... ②雷... 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(2009)第 240877 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 314 千字

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

数控人才为国家紧缺性人才,数控加工工艺设计、数控程序编制、数控机床操作是数控技术高技能人才必须掌握的技能,也是高职机械类专业的专业核心课程。

本书以工作过程为导向,以典型零件为载体,采用项目教学的方式进行内容的组织,详细地介绍了数控车、铣、加工中心、线切割的工艺分析、编程指令及宇龙数控仿真软件的操作等内容。内容按照由简单到复杂的零件层层递进,每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、知识拓展、小结、自测题 6 个部分组成。在项目导入部分给出编程零件图样及相关任务;在相关知识里面介绍完成本项目学生需要学习和掌握的相关数控加工工艺、华中数控系统编程指令、宇龙数控仿真软件等知识;项目实施部分,介绍完整的数控编程及加工过程;在拓展知识部分,介绍 FANUC 数控系统编程指令及相应宇龙数控仿真软件的操作;小结部分对本项目涉及的知识及能力进行总结;自测题部分,精心挑选了一定数量的与该项目对应的习题,供学生自主学习。

本书可作为高等职业技术学院数控专业、机械制造专业、模具设计与制造等专业的教学用书,也可作为企业有关工种职工的培训教材,还可作为从事数控加工的工程技术人员参考用书。为方便老师教学,本书提供电子课件,请发邮件至 xy song@ndip.cn 索取。

本书由陈江进、雷黎明主编。绪论、项目一由陈江进编写;项目五、项目六、项目七由雷黎明编写;项目二、项目三由蔡明富编写;项目四、项目八、项目九由杨纯海编写;项目十由周军编写;全书由陈江进、雷黎明统稿。本书在编写过程中参考了江汉钢管股份公司、赛瓦股份公司、恒隆股份公司提供的信息,还参阅了大量同行的教材、资料与文献,得到沈祎军高级工程师、王彬高级工程师等的大力支持和帮助,在此深表感谢。

本教材完稿后,虽经数控教研室有关教师详细审阅,但仍难免有不足之处,恳请读者批评与指正,以便在修订时改进。

编者

2009 年 10 月

目 录

绪论	1
一、数控技术的发展	1
二、数控机床的特点及应用范围	3
三、数控机床的工作原理、组成及分类	4
四、数控加工编程基础	8
【自测题】	23
项目一 阶梯轴的数控加工工艺、编程及操作	24
【项目导入】	24
【相关知识】	25
一、零件数控车削加工工艺分析	25
二、数控车床的编程特点	30
三、车床数控系统的功能	30
四、数控车床加工编程指令	33
【项目实施】	38
一、加工工艺分析	38
二、编制加工程序	39
三、零件的仿真加工	41
【知识拓展】	48
一、FANUC 0i-T 系统数控车床编程相关指令	48
二、FANUC 0i-T 系统数控车台阶轴应用实例	49
【小结】	50
【自测题】	50
一、选择题	50
二、编程题	50
项目二 带圆弧轴的数控加工工艺、编程及操作	52
【项目导入】	52
【相关知识】	53
一、圆弧插补指令 G02、G03	53

二、刀尖半径补偿(G41、G42、G40)	54
三、复合固定循环指令	57
【项目实施】	62
一、加工工艺分析	62
二、编程加工程序	63
三、零件的仿真加工	64
【知识拓展】	66
一、FANUC 0i-T 系统的相关指令	66
二、FANUC 0i-T 系统编程应用实例	66
【小结】	67
【自测题】	67
一、选择题	67
二、编程题	68
项目三 螺纹轴的数控加工工艺、编程及操作	69
【项目导入】	69
【相关知识】	70
一、螺纹数控车削加工工艺	70
二、螺纹加工基本指令	72
【项目实施】	77
一、加工工艺分析	77
二、编制加工程序	78
三、零件的仿真加工	80
【知识拓展】	80
一、FANUC 0i-T 系统螺纹车削编程指令	80
二、FANUC 0i-T 系统螺纹车削编程实例	81
【小结】	82
【自测题】	82
项目四 轴套的数控加工工艺、编程及操作	83
【项目导入】	83
【相关知识】	83
一、内孔刀具的选择	83
二、内孔加工指令	84
【项目实施】	85
一、加工工艺分析	85
二、编制加工程序	86

三、零件的仿真加工	87
【知识拓展】	91
一、FANUC 系统内孔加工相关知识	91
二、FANUC 0i-T 车内孔应用实例	91
【小结】	92
【自测题】	92
项目五 凸模板的数控加工工艺、编程及操作	94
【项目导入】	94
【相关知识】	94
一、平面铣削方法及面铣刀	94
二、外轮廓的铣削方法	96
三、立铣刀	97
四、铣削用量的选择	99
五、立式数控铣床坐标系及编程坐标系	100
六、数控铣 F、S、T 指令	101
七、数控铣床常用编程指令	101
【项目实施】	110
一、加工工艺分析	110
二、编制加工程序	112
三、加工与优化	113
【知识拓展】	122
一、FANUC 0i-M 系统铣削外轮廓相关指令	122
二、FANUC 0i-M 系统铣削外轮廓实例	123
【小结】	124
【自测题】	124
项目六 腔槽的数控加工工艺、编程及操作	126
【项目导入】	126
【相关知识】	127
一、槽、键槽的加工方法	127
二、键槽铣刀	128
三、铣削内轮廓的加工路线	128
四、编程指令	129
【项目实施】	132
一、加工工艺分析	132
二、编制加工程序(程序文件名 O6001)	133

三、加工操作过程	136
【知识拓展】	138
一、FANUC 0i-M 系统的编程指令	138
二、FANUC 0i-M 系统腔槽加工实例	138
【小结】	139
【自测题】	139
项目七 盖板的数控加工工艺、编程及操作	141
【项目导入】	141
【相关知识】	142
一、孔加工刀具	142
二、切削用量的选择	144
三、加工孔走刀路线设计	145
四、固定循环指令	147
【项目实施】	163
一、加工工艺分析	163
二、编写零件加工程序(程序文件名 O7001)	164
三、加工与优化	166
【知识拓展】	167
一、FANUC 0i 系统固定循环指令	167
二、FANUC 0i 系统孔系加工实例	167
【小结】	168
【自测题】	168
项目八 端盖的数控加工工艺、编程及操作	170
【项目导入】	170
【相关知识】	170
一、缩放指令 G50、G51	170
二、旋转变换指令 G68、G69	172
三、镜像指令 G24、G25	173
【项目实施】	174
一、加工工艺分析	174
二、编制加工程序	175
三、零件的仿真加工	177
【知识拓展】	179
【小结】	181
【自测题】	181

项目九 凸模板的宏程序加工	182
【项目导入】	182
【相关知识】	182
一、球头铣刀	182
二、曲面铣削路线	183
三、宏程序指令	183
【项目实施】	187
一、加工工艺分析	187
二、编制加工程序	188
三、零件的仿真加工	190
【知识拓展】	191
一、FANUC 0i 系统宏程序的相关知识	191
二、FANUC 0i 系统宏程序应用实例	194
【小结】	195
【自测题】	195
项目十 凸模的电火花线切割加工	197
【项目导入】	197
【相关知识】	197
一、电火花线切割加工概述	197
二、电火花线切割工艺与工装	199
三、电火花线切割编程方法	206
【项目实施】	208
一、凸模的工艺处理及计算	208
二、3B 格式编制加工程序	208
【知识拓展】	209
一、4B 代码编程介绍	209
二、ISO 代码编程	210
【小结】	210
【自测题】	210
参考文献	212

绪 论

一、数控技术的发展

1. 数字控制及数控机床的概念

数字控制——NC(Numerical Control),在机床领域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,再经过处理与计算后,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。

2. 数控机床的产生

1952年,美国帕森斯公司与麻省理工学院伺服机构实验室合作,成功研制出一套三坐标联动、利用脉冲乘法器原理的试验性数字控制系统,并将它装在一台立式铣床上,这就是世界上第一台数控机床。

1953年,美国空军与麻省理工学院协作,开始从事计算机自动编程的研究,这就是研制APT自动编程系统的开始。

1959年3月,美国克耐·杜列克公司开发了带有自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”。

由于当时控制计算机的价格十分昂贵,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FMS柔性制造系统。随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降,小型计算机开始取代专用控制的硬件逻辑数控系统(NC),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(CNC)。

1970年前后,美国英特尔(Intel)公司首先开发和使用微处理器。1974年,美国、日本等首先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,20多年来,微处理器数控系统的数控机床得到飞速发展和广泛应用。这就是微机数控系统,即MNC系统。

20世纪80年代初,国际上又出现了柔性制造单元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(CIMS)的必经阶段和基础。

3. 我国数控技术发展现状及趋势

我国从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—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。但是由于历史的原因,数控机床的发展很慢,品种和数量都很少,稳定性和可靠性也比较差,只在一些复杂的、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、齿轮加工、电加工等领域

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,致使数控系统的可靠性、稳定性未得到解决,因此不能广泛推广。直到20世纪80年代,我国先后从日本、美国等国家引进一些先进的数控系统和直流伺服电机、直流主轴电机技术,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年至1990年是我国数控机床大发展的时期。在此期间,通过实施国家重点科技攻关项目“柔性制造系统技术及设备开发研究”及重点科技开发项目“数控机床引进技术消化吸收”,推动了我国数控机床的发展。

从20世纪90年代以来,我国主要发展高档数控机床。

目前,在数控领域中,我国和先进的工业国家之间还存在一定的差距。我国数控机床的生产还远远满足不了国内生产的需要,更不能满足出口的要求。在现有数控机床中,还有待于进一步提高其利用率。随着我国加入WTO,并将成为世界制造中心,各行各业对数控机床的需要将会很大,数控机床也必然在国家建设中发挥更大的作用。

从发明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的发展趋势:

(1) 高速、高效、高精度、高可靠性。

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,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适用性。

高精度:从精密加工发展到超精密加工,是各工业强国发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级,其应用范围日趋广泛。

高可靠性:是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠,受性能价格比的约束。

(2) 模块化、智能化、柔性化和集成化。

模块化、专门化与个性化: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。个性化是近几年来特别明显的发展趋势。

智能化:智能化的内容包括在数控系统中的各个方面,一是为追求加工效率和加工质量方面的智能化;二是为提高驱动性能及使用连接方便方面的智能化;三是简化编程、简化操作方面的智能化;四是智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

柔性化和集成化:柔性化是指加工系统能适应加工对象变化的能力。集成化指将多个加工过程集合到一起进行。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,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、柔性化及数控迅速发展的要求,NC控制器透明以使机床制造商和用户可以自由地实现自己的思想。

(4) 出现新一代数控加工工艺与装备。

为适应制造自动化的发展,向FMC、FMS和CIMS提供基础设备,要求数字控制制造

系统不仅能完成通常的加工功能，而且还要具备自动测量、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。

二、数控机床的特点及应用范围

1. 数控机床的特点

数控机床是实现柔性自动化的重要设备，与其他加工设备相比，数控机床具有如下特点：

(1) 可以加工有复杂型面的工件。

无论多么复杂的型面，只要能编制出加工程序就能加工出来。

(2) 加工精度高。

数控机床是按程序指令进行加工的，而且数控机床本身的精度都比较高，定位精度一般达到了 $\pm 0.01\text{mm}$ ，重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。由于数控机床加工完全是自动进行的，故消除了操作者人为产生的误差，使同一批工件的尺寸一致性好，加工质量十分稳定。

(3) 自动化程度高，劳动强度低。

数控机床对工件的加工是按事先编好的程序自动完成的，工件加工过程中不需要人的干预，加工完毕后自动停车，使操作者的劳动强度与紧张程度大为减轻。加上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，操作者的劳动条件也大为改善。

(4) 生产效率高。

工件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床能有效地减少这两部分的时间。由于数控机床的结构刚性好，能使用大切削用量的强力切削，提高了数控机床的切削效率，节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快，工件装夹时间短，辅助时间比一般机床少。数控机床更换工件时，不需要调整机床。同一批工件加工质量稳定，不需停机检验，使辅助时间大大缩短。在加工中心上加工时，一台机床实现了多道工序的连续加工，生产效率的提高更加明显。

(5) 良好的经济效益。

数控机床虽然设备昂贵，分摊到每个工件上的设备费用较高，但用数控机床加工工件可以节省许多其他费用，如用数控机床加工工件可以节省划线工时，减少调整、加工和检验时间，节省了直接生产的生产费用；数控机床加工精度稳定，废品率低，使生产成本下降。另外，数控机床可以一机多用，节省厂房面积，减少建厂投资。因此，使用数控机床加工可以获得良好的经济效益。

(6) 有利于现代化生产管理。

数控加工程序应用的是数字化信息，利用数控机床的通信接口与计算机联网，可以实现计算机辅助设计、制造和管理一体化。

2. 数控机床的应用范围

数控机床的性能特点决定它有广泛的应用范围。

(1) 最适合于数控加工的零件。

① 批量小而又多次生产的零件。

- ② 几何形状复杂的零件。
- ③ 加工过程中必须进行多种加工的零件。
- ④ 必须严格控制公差的零件。
- ⑤ 工艺设计会变化的零件。
- ⑥ 需全部检验的零件。

(2) 比较适合数控加工的零件。

- ① 价格昂贵, 毛坯获得困难, 不允许报废的零件。
- ② 切削余量大的零件。
- ③ 在通用机床上加工生产率低, 劳动强度大, 质量难控制的零件。
- ④ 用于改型比较、供性能或功能测试的零件。
- ⑤ 多品种、多规格、单件小批量生产的零件。

(3) 不适合于数控加工的零件。

- ① 利用毛坯作为粗基准定位进行加工的零件。
- ② 定位完全需人工找正的零件。
- ③ 必须用专用工艺装备, 依据样板、样件加工的零件。
- ④ 大批量生产的零件。

三、数控机床的工作原理、组成及分类

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, 它在加工工艺与加工表面形成方法上与普通机床基本相同, 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。

在数控机床上加工作件尺寸, 要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, 发出指令控制机床进行自动加工。

2. 数控机床的组成

数控机床通常由程序载体、输入装置、数控装置、伺服驱动系统、强电控制系统、检测装置、机床本体与机床的零部件以及数控机床附件等组成。

(1) 程序编制及程序载体。

数控程序由数控机床自动加工零件所需工作指令组成, 包含切削过程中所必需的机械运动、零件轮廓尺寸、工艺参数等加工信息。编制程序的工作可以人工进行, 也可以在数控机床以外用计算机自动编程系统来完成。

编制好的零件加工程序, 存放在控制介质(存储载体)上, 常用的控制介质有穿孔纸带、磁带、磁盘等信息载体, 采用哪种存储载体, 取决于数控装置的设计类型。最早使用的存储载体是穿孔纸带, 这种存储载体如今已经逐渐被淘汰。对于配置有计算机驱动器的数控机床, 可以将程序存储在磁盘上, 通过软驱输入系统。

(2) 输入装置。

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码信息转换成相应的电脉冲信号并传送到数控装置的存储器。根据程序控制介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、录放机或软盘驱动器。

手动输入就是操作者利用机床上的键盘及显示屏输入加工指令。通信方式输入是指使用数控装置的串行口,通过相关软件和对有关参数的设定,直接读入在自动编程机上或其他计算机上编制好的程序。目前,随着CAD、CAM、CIMS技术的发展,越来越多地采用通信方式进行程序的传输。

(3) 数控装置。

数控装置是数控机床的核心,包括微型计算机、各种接口电路、显示器等硬件及相应的软件,它能完成信息的输入、存储、变换、插补运算以及各种控制功能。

(4) 伺服控制装置。

伺服系统是数控系统的执行部分。它接收数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按指令的要求驱动机床的运动部件,完成规定的运动,加工出合格的零件。

伺服系统包括驱动装置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) 强电控制装置。

强电控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统。其主要作用是接收数控装置输出的主轴变速、换向、启动或停下,刀具的选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件的夹紧或松开,切削液的开或关等辅助操作的信号,经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的执行元件,以完成指令所规定的动作,从而实现数控机床在加工过程中的全部自动操作。

(6) 检测装置

数控机床检测装置是对数控机床执行件的实际位置进行测量,不断地将工作台的位移量检测出来并反馈给数控系统的装置。数控系统利用其本身的插补计算的理论与实际反馈的位置进行比较,以判断进给定位的正确与否,同时辅助伺服系统达到更精确的进给定位,以弥补机械精度的不足。实际反馈位置的采集是由位置检测装置来实现的。常用的位置检测装置有感应同步器、光栅位置检测装置,光电脉冲编码器、旋转编码器、磁尺位置检测装置等。

(7) 机床。

与普通机床相比,数控机床主体结构虽然仍然由主传动装置、进给传动装置、床身及工作台和辅助装置组成,但其传动系统更为简单。数控机床的静态和动态刚度要求更高,传动装置的间隙要求尽可能小,滑动面的摩擦因数要小,并有恰当的阻尼,以适应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

3. 数控机床分类

(1) 按控制系统功能分类。

按控制系统的功能特点可以将数控机床分为点位控制、点位直线控制、轮廓控制三种数控机床。

① 点位控制数控机床。

点位控制数控机床的特点是刀具相对工件的移动过程中,不进行切削加工,对定位

过程中的运动轨迹没有严格要求，仅要求实现从一坐标点到另一坐标点的精确定位。为了尽可能地减少刀具的运动时间并提高定位精度，刀具先是快速移动到接近终点的位置，然后降低移动速度，使之慢速趋近定位点，以确保定位精度。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控测量机、数控点焊机、数控弯管机等。图0-1是点位控制钻孔加工示意图，从图中可以看出，从第一个孔到第二个孔，刀具的三种不同的运动轨迹，都能满足钻孔的要求。

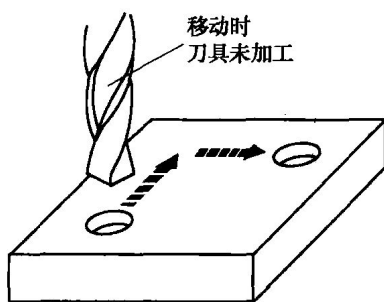


图 0-1 点位控制钻孔加工示意图

② 点位直线控制数控机床。

点位直线控制数控机床的特点是不仅要控制从一坐标点到另一坐标点的精确定位，还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹，其轨迹是平行机床各坐标轴的直线，或两轴同时移动形成的 45° 斜线。点位直线控制数控机床虽然比点位控制数控机床的工艺范围广，但在实用中仍受到很大的限制。这类数控机床主要有经济型数控车床、数控镗铣床、数控加工中心等。图0-2是点位直线控制铣削加工示意图。

③ 轮廓控制数控机床。

轮廓控制数控机床的特点是能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行加工控制。加工时不仅能控制起点和终点坐标，而且要控制整个加工过程中每一个点的坐标和速度，即控制刀具运动轨迹，将工件加工成一定的轮廓形状。图0-3是轮廓控制铣削加工示意图。

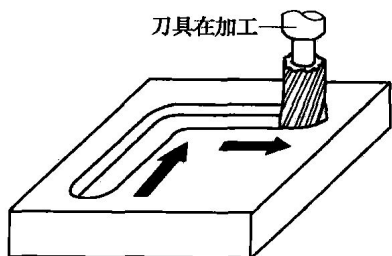


图 0-2 点位直线控制铣削加工示意图

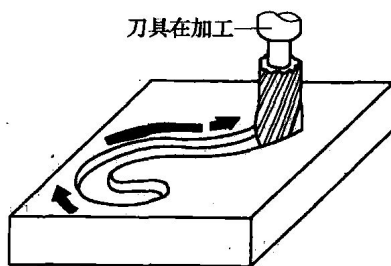


图 0-3 轮廓控制铣削加工示意图

(2) 按伺服控制方式分类。

数控机床按照伺服控制方式可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环系统中，根据检测反馈装置安放的部位可分为全闭环控制和半闭环控制两种。

① 开环控制数控机床。

开环控制数控机床的特点是不带检测反馈装置，这类数控机床主要使用步进电机。如图0-4所示是典型的开环数控系统，数控装置将工件加工程序处理后，输出数字指令脉冲信号，通过驱动电路控制功率步进电机转动，再经减速器带动丝杠转动，从而使工作台移动。改变进给脉冲的数目和频率，就可以控制工作台的位移量和速度。指令信息单方向传送，并且指令发出后，不再反馈回来，故称开环控制。

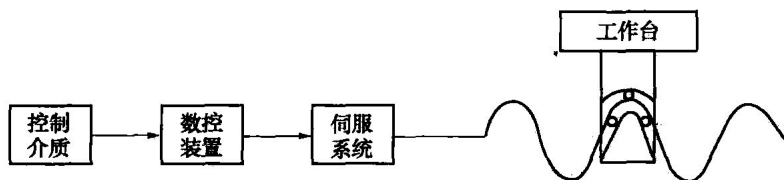


图 0-4 开环数控系统的结构框图

开环控制系统由于没有检测装置，也就没有纠正偏差的能力，因此它的控制精度较低。但由于其结构简单，调试方便，维修容易，造价低廉等优点，现仍被广泛应用于经济型数控机床及旧机床的数控化改造上。

② 闭环控制数控机床。

闭环控制数控机床的特点是装有位置测量反馈装置。加工过程中，安装在工作台上的检测元件将工作台的实际位移量反馈到计算机中，与所要求的位置指令进行比较，用比较的差值进行控制，直到差值消除。可见，闭环控制系统可以消除机械传动的各种误差及工件加工过程中产生干扰的影响，使加工精度大大提高。图0-5所示为闭环控制系统框图。

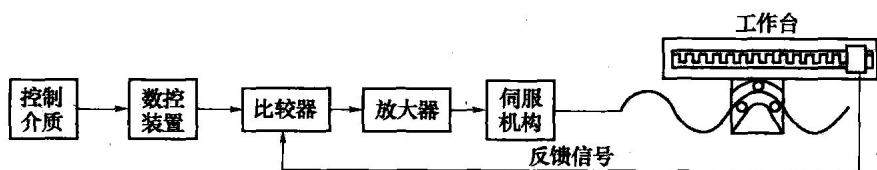


图 0-5 闭环数控系统的结构框图

闭环控制系统的加工精度高，速度快。这类数控机床常采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件，电动机的控制电路比较复杂，检测元件价格昂贵，调试维修复杂，成本高。闭环控制数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、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。

半闭环控制系统与闭环控制系统的控制方式相类似。它们之间的主要区别在于半闭环控制系统不是直接检测工作台的位移量，而是检测角位移，如圆光栅、旋转变压器、圆感应同步器、编码器等，并将检测装置从工作台改装在伺服电动机轴或丝杠端头上。由于反馈环内没有包含工作台，故称为半闭环控制。如图0-6所示，由转角检测元件检测出伺服电机或丝杠的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到计算机中与指令值进行比较，用比较的差值进行控制。

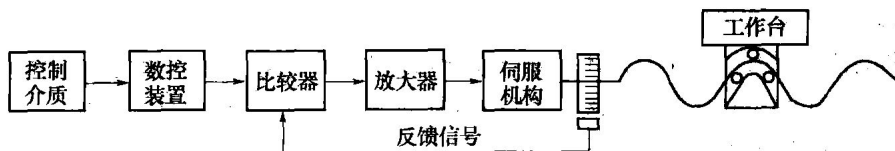


图 0-6 半闭环数控系统的结构框图

目前，已将角位移检测装置与伺服电机设计成一个部件，使系统的结构简单，安装调试都比较方便。半闭环控制精度较闭环控制差，但稳定性好，成本较低，调试维修也比较容易，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) 按数控系统的功能水平分类。

按数控系统的功能水平来分，有两种分法，一种是把数控机床分为高、中、低档(经济型)数控机床。这种分类方法，在我国应用较普遍。目前高、中、低三档的界限还没有一个统一的界定标准，加之不同时期划分的标准也不同，故按照功能水平分类的指标限定仅供参考。

按数控系统功能分类的另一种分法是将数控机床分为经济型(简易)、普及型(全功能)、和高档型三种数控机床。全功能型并不追求过多功能，以实用为准，也称为标准型。经济型数控机床的目的是根据实际机床的使用要求，合理地简化系统，降低价格。在我国，经济型数控机床是指装备了功能简单、价格低、使用操作方便的低档数控系统的机床，主要用于车床、线切割机及原有机床的数控化改造等。

四、数控加工编程基础

1. 程序编制的基本概念

数控机床是一种自动化机床，但不同于过去的由凸轮控制的自动机床。在数控机床上加工作件时，首先要编制零件的加工程序。所谓程序编制(以下简称编程)，就是将加工零件的全部工艺过程、工艺参数和位移数据等，按规定的格式以数字信息的形式记录在控制介质(如穿孔带、磁带和磁盘等)上，然后输入给数控装置，从而由数控系统控制机床对零件进行加工。在现代数控机床上，可通过控制面板、磁盘或计算机直接通信的方式将零件加工程序送入数控系统，这样可以免去制备控制介质(如穿孔带和磁带等)的繁琐工作，提高了程序信息传递的速度及可靠性。

2. 编程的种类

编程可分为手工编程和自动编程两类。

手工编程时，整个程序的编制过程是由人工完成的，这就要求编程人员不仅要熟悉功能代码及编程规则，而且还必须具备机械加工工艺知识和数值计算的能力。

自动编程时，编程人员根据零件图样的要求，按照某个自动编程系统的规定编写零件源程序，送入编程计算机，再由计算机自动编程。编程系统能自动打印出加工程序单，制备控制介质并生成加工程序。自动编程既可减轻劳动强度、缩短编程时间，又可减少差错，使编程工作简便。在许多CAM系统中，可以由设计图形直接生成加工程序。

3. 编程的内容和方法

编程的主要内容包括：分析零件图样；进行工艺数据处理；通过数值计算，得出刀具中心运动轨迹，获得刀位数据；编制零件加工程序单；制备控制介质；校核程序及首件试切。手工编程的步骤如下。

1) 分析零件图样

根据零件的材料形状、精度、毛坯形状和热处理要求等确定加工方案,选择合适的机床。

2) 工艺处理

工艺处理涉及的问题较多,主要考虑以下几点:

(1) 确定加工方案。应按照充分发挥数控机床功能的原则,使用合适的数控机床,确定合理的加工方法。

(2) 刀具、夹具的选择。数控加工用刀具由加工方法、切削用量及其他与加工有关的因素来确定。数控加工一般不需要专用的、复杂的夹具,在选择夹具时应特别注意要迅速完成工件的定位和夹紧过程,以减少辅助时间,所选夹具还应便于安装,便于协调工件和机床坐标系的尺寸关系。

(3) 选择对刀点。对刀点是程序执行的起点,也称“程序原点”。程序编制时正确地选择对刀点是很重要的。对刀点的选择原则是:所选的对刀点应使程序编制简单;对刀点应选在容易找正、加工过程中便于检查的位置;为提高零件的加工精度,对刀点应尽量设置在零件的设计基准或工艺基准上。

(4) 确定加工路线。确定加工路线时要尽量缩短加工路线,减少进刀和换刀次数,保证加工安全可靠。

(5) 确定切削用量。即确定切削深度、主轴转速、进给速度等,具体数值应根据数控机床使用说明书的规定、被加工工件的材料、加工工序以及其他要求并结合实际经验来确定。同时,对毛坯的基准面和加工余量要有一定的要求,以便毛坯的装夹,使加工能顺利进行。

3) 刀具运动轨迹计算(数学处理)

工艺处理完成后,根据零件的几何尺寸、加工路线计算数控机床所需的输入数据。一般的数控系统都具有直线插补和圆弧插补的功能,所以对于由直线和圆弧组成的较简单的平面零件,只需计算出零件轮廓的相邻几何元素的交点或切点(称为基点)的坐标值;对于较复杂的零件或零件的几何形状与数控系统的插补功能不一致时,就需要进行较为复杂的数值计算。例如非圆曲线,需要用直线段或圆弧段来逼近,计算出相邻逼近直线或圆弧的交点或切点(称为节点)的坐标值,编制程序时要输入这些数据。

4) 编写加工程序单

完成工艺处理与运动轨迹运算后,根据计算出的运动轨迹坐标值和已确定的加工顺序、加工路线、切削参数和辅助动作,以及所使用的数控系统的指令、程序段格式,按数控机床规定使用的功能代码及程序格式,编写加工程序单。

5) 程序输入

编好的程序可以通过几种方式输入数控装置:可以按规定的代码存入穿孔纸带、磁盘等程序介质中,变成数控装置能读取的信息,送入数控装置;可以用手动方式,通过操作面板的按键将程序输入数控装置;如果是专用计算机编程或用通用微机进行的计算机辅助编程,可以通过通信接口,直接传入数控装置。

6) 程序校验

编好的程序在正式加工之前,需要经过检测。一般采用空走刀检测,在不装夹工件的情况下启动数控机床,进行空运行,观察运动轨迹是否正确。也可采用空运转画图检