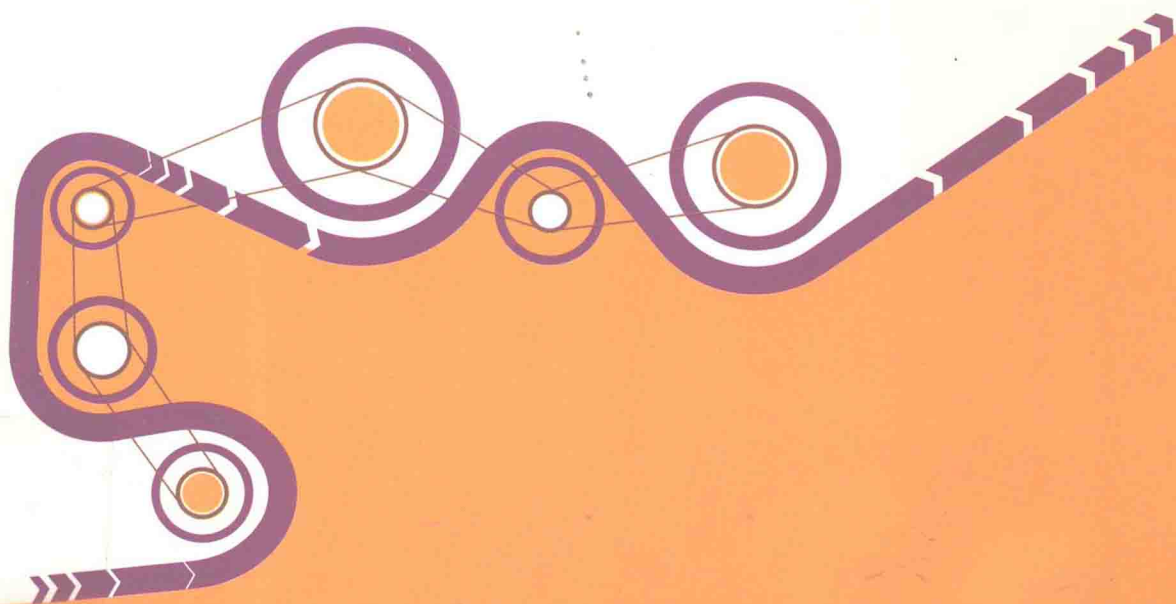


高职高专机电类工学结合模式教材

实用 数控编程技术教程

何庆稀 主 编
章跃洪 副主编

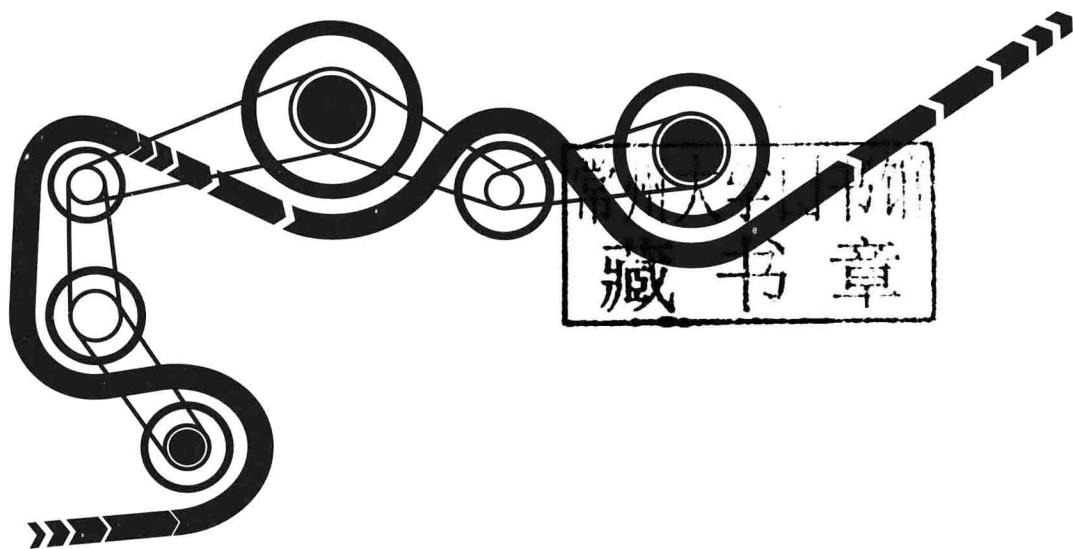


清华大学出版社

高职高专机电类工学结合模式教材

实用 数控编程技术教程

何庆稀 主 编
章跃洪 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是针对企业最为常用的 FANUC、SIEMENS 和华中 HNC 等数控系统编写的,内容包含数控机床结构功能,数控编程原理,数控加工工艺分析,宏程序编制方法及数控车、铣、加工中心编程综合应用等,进度由浅入深层层递进,理论和实践有机结合,符合数控技术学习者的认知规律,能使读者熟练掌握数控程序编制技术。本教程附带光盘中有大量课件及视频资料作为教师及学习者参考使用。

本书适合于本科院校及高职高专院校机电、机制、数控、模具类相关专业的教学,同样适合对数控技术有兴趣的企业员工和社会人员自学使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

实用数控编程技术教程/何庆稀主编.--北京:清华大学出版社,2010.3
(高职高专机电类工学结合模式教材)

ISBN 978-7-302-21914-9

I. ①实… II. ①何… 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 016558 号

责任编辑:贺志洪

责任校对:李 梅

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:12.75 字 数:291 千字

(附光盘 1 张)

版 次:2010 年 3 月第 1 版 印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:26.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:035966-01



我国从 20 世纪 50 年代开始由北京机床研究所与清华大学合作自主研究数控机床,直至 80 年代从国外大力引进先进的研究成果,经过 90 年代的消化和吸收、积累和沉淀,在 21 世纪初我国数控机床在企业得到了普遍的应用。同时,为了适应企业对数控技能人才的大量需求,在各类大中专院校开设数控技术应用专业也成了当前的一大热点。但是,数控技术专业在我国尚属新兴专业,高等职业院校如何培养适应企业需求的数控技术人才还处于探索阶段,在教学过程中,很多教师甚至为不能找到一本合适的教材而束手无策。

本教材的编写结合当前国内市场占有率较高的几大数控系统,依托国家数控职业技能人才培养培训基地(温州)的设备条件,汲取本人以及兄弟院校教师在多年数控技术应用专业建设、数控编程加工课程教学、数控加工车间实训指导及对外加工的实践经验,并适当安排了一定数量的典型零件加工实例,尽可能地使教材达到专业、通用和实用。

本教材在原有教学、实训讲义的基础上整理充实而成,内容主要包括基于当前较为流行的 FANUC、SIEMENS 和华中世纪星 HNC-22M(T) 数控系统的数控车削程序编制及数控铣削、加工中心程序编制应用等。通过本教材系统的介绍,相信读者能对各类数控系统的编程方法有较为清楚的理解,形成相当的数控程序编制能力。在教材付印之前该讲义已在 5 届数控、机制、模具、机电类专业学生的教学中使用,在使用过程中作了大量的修改和完善。其中第 3 章的内容主要由金华职业技术学院章跃洪编写,其余章节由温州职业技术学院何庆稀编写,最终统稿工作由何庆稀完成。在前几轮的使用过程中,温州职业技术学院项筱洁老师对本讲义的内容提出了一些合理的修改意见并在大部分章节中丰富了讲义的信息。同时,在教材编写过程中得到了浙江大学现代制造技术研究中心、华中数控科技有限公司、南京日上数控公司、北京机电研究院以及本实训基地刘长江、付炎杰、陈德存、张亮等同仁的大力支持和协作,在此谨表谢意。

由于编者水平所限,书中不足之处恐未能免,望广大读者批评指正!

编 者

2009 年 12 月 30 日



第 1 章 数控编程基础概述	1
1.1 数控机床基本知识	1
1.1.1 数控机床的产生和发展	1
1.1.2 我国数控机床发展概况	2
1.1.3 数控机床的发展趋势	2
1.2 数控机床的组成结构及工作原理	3
1.2.1 数控机床的组成	3
1.2.2 数控机床的工作原理	5
1.3 数控机床的分类	12
1.3.1 按控制系统的特点分类	12
1.3.2 按进给伺服系统的类型分类	13
1.3.3 按工艺用途分类	14
1.4 数控加工常用工艺文件	15
习题 1	16
第 2 章 FANUC 系统数控车床编程	18
2.1 数控车床编程基础知识	18
2.1.1 数控车床的基本结构及分类	18
2.1.2 数控车床编程坐标系	20
2.1.3 切削加工基础知识	21
2.2 FANUC 数控车床编程原理	25
2.2.1 程序结构	25
2.2.2 辅助功能 M 指令	27
2.2.3 进给功能(F 功能)	28
2.2.4 主轴转速功能(S 功能)	29
2.2.5 刀具功能(T 功能)	29
2.2.6 准备功能指令	29
2.2.7 固定循环切削功能指令	40
2.3 典型零件加工编程实例	52
2.3.1 轴类零件加工工艺特点分析	52

2.3.2 轴类零件加工编程实例	54
习题 2	60
第 3 章 华中 HNC-22T 系统数控车床编程	62
3.1 华中 HNC-22T 系统数控车床编程原理	62
3.1.1 程序号及程序结构	62
3.1.2 准备功能	63
3.1.3 辅助功能	63
3.1.4 进给功能	64
3.1.5 主轴转速功能	64
3.1.6 刀具功能	65
3.1.7 直径/半径方式编程指令 G36/G37	65
3.1.8 固定循环指令	65
3.1.9 子程序	75
3.2 典型零件编程与加工综合实例	76
3.2.1 华中 HNC-22T 系统编程技巧	76
3.2.2 华中 HNC-22T 系统编程应用实例 1	77
3.2.3 华中 HNC-22T 系统编程应用实例 2	79
习题 3	82
第 4 章 SINUMERIK 802S 系统数控车床编程	84
4.1 SINUMERIK 802S 系统数控车床系统功能	84
4.2 SINUMERIK 802S 系统编程原理	86
4.2.1 公制和英制输入指令 G71/G70	86
4.2.2 半径/直径方式编程指令 G22/G23	86
4.2.3 零点偏移指令应用	86
4.2.4 倒角、倒圆角指令	87
4.2.5 圆弧插补指令	88
4.2.6 刀具补偿功能	90
4.2.7 固定循环指令	92
4.2.8 子程序	99
4.2.9 计算参数 R	100
4.2.10 程序跳转	100
4.3 典型零件编程与加工实例	102
4.3.1 SINUMERIK 802S 系统数控车床编程技巧	102
4.3.2 SINUMERIK 802S 系统数控车床编程应用实例	102
习题 4	106

第 5 章 FANUC 0i 系统加工中心编程	108
5.1 加工中心编程基础	108
5.1.1 加工中心概述	108
5.1.2 加工中心坐标系统	112
5.1.3 加工中心刀具基础	114
5.2 FANUC 0i 系统加工中心编程原理	118
5.2.1 程序结构	118
5.2.2 主程序与子程序的关系	118
5.2.3 子程序格式	119
5.2.4 调用子程序格式	119
5.2.5 准备功能指令——G 代码	120
5.2.6 主轴及辅助功能指令	126
5.2.7 进给功能指令	128
5.2.8 刀具功能指令	129
5.2.9 固定循环切削功能指令	130
5.3 加工中心程序编制实例	134
5.3.1 加工中心加工类零件工艺特点分析	134
5.3.2 加工中心编程实例	135
5.4 用户宏 B 功能	140
习题 5	142
第 6 章 华中 HNC-22M 加工中心编程	144
6.1 华中 HNC-22M 系统编程原理	144
6.1.1 指令字格式	144
6.1.2 辅助功能 M 代码	145
6.1.3 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T	145
6.1.4 准备功能 G 代码	145
6.1.5 简化编程指令	147
6.1.6 固定循环	151
6.1.7 主程序和子程序的格式	156
6.2 宏指令编程	158
6.3 华中 HNC-22M 加工中心程序编制实例	160
6.3.1 华中 HNC-22M 系统编程技巧	160
6.3.2 华中 HNC-22M 系统编程应用实例	161
6.4 典型零件的工艺分析与编程	164
习题 6	169

第 7 章 SINUMERIK 810D 数控铣床及加工中心编程	171
7.1 SINUMERIK 810D 系统编程原理	171
7.1.1 直线间倒角和倒圆指令 CHF、RND	171
7.1.2 圆弧轮廓加工指令	172
7.1.3 圆弧进给率修调——CFTCP、CFC	175
7.1.4 转换功能 FRAME	176
7.1.5 主轴功能	179
7.1.6 子程序	179
7.1.7 固定循环指令	181
7.1.8 计算参数 R	187
7.2 SINUMERIK 810D 系统加工中心编程实例	189
7.2.1 SINUMERIK 810D 系统编程特点分析	189
7.2.2 SINUMERIK 810D 系统加工中心编程应用实例	190
习题 7	193
参考文献	195

数控编程基础概述

1.1 数控机床基本知识

1.1.1 数控机床的产生和发展

数字控制机床——Numerical Control Machine Tools, 简称数控机床, 是指用数字代码形式的信息, 即程序指令控制刀具, 使其按给定运动速度和轨迹进行自动加工的机床。数控机床是在机械制造技术和控制技术的基础之上发展起来的, 其产生及发展过程经历了长时间的考验。

1948年, 美国帕森斯公司接受美国空军委托, 研制直升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, 一般加工设备难以适应, 于是提出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)开始共同合作研究, 并于1952年试制成功第一台三坐标数控铣床样机, 1955年数控机床进入实用阶段, 当时的数控装置均采用了电子管元件, 因此通常称为第一代数控机床。

1959年, 数控装置采用了晶体管元件和印刷电路板, 出现了带自动换刀装置的数控机床, 即通常所谓的加工中心 MC(Machining Center), 从此数控装置进入了第二代数控机床的发展时期。

1965年, 出现了第三代数控机床的集成电路装置, 其不仅体积小, 功率消耗少, 且可靠性也得到了提高, 价格进一步下降, 促进了数控机床品种和产量的发展。

20世纪60年代末, 先后出现了由一台计算机直接控制多台数控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数控机床。

1974年, 人们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。20世纪80年代初, 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;数控装置越趋小型化,可以直接安装在机床上;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。

上述是数控机床单机的一个发展过程,在单机数控机床技术水平不断提高的同时,运用计算机技术进行多台数控机床集成综合运用的技术也在不断发展。

首先是柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,FMS)的出现。柔性制造系统是以数控机床为基础,配以物料传送装置组成的生产系统。该系统由电子计算机实现自动控制,能在不停机的情况下,满足多品种的加工。柔性制造系统适合加工形状复杂、工序多、批量大的零件。

其次在 FMS 技术发展的基础上,CIMS(Computer Integrated Manufacturing Systems,计算机现代集成制造系统)的应用使企业生产及管理出现了革命性的变化。CIMS 的主要特征是集成化与智能化。集成化即自动化的广度,它把系统的空间扩展到市场、产品设计、加工制造、检验、销售和为用户服务等全部过程;智能化即自动化的深度,不仅包含物料流的自动化,而且还包括信息流的自动化。

1.1.2 我国数控机床发展概况

我国数控技术起步于 1958 年,由北京机床研究所和清华大学等单位首先进行数控机床的研制,并试制成功第一台电子管数控机床。50 多年的发展历程大致可分为 3 个阶段:第一阶段从 1958 年到 1979 年,即封闭式发展阶段。在此阶段,由于国外的技术封锁和我国基础条件的限制,数控技术的发展较为缓慢。第二阶段是在国家的“六五”、“七五”期间以及“八五”的前期,即引进技术,消化吸收,初步建立起国产化体系阶段。在此阶段,由于国家实行改革开放和重视程度的加深,以及研究开发环境和国际环境的改善,我国数控技术的研究、开发以及在产品的国产化方面都取得了长足的进步。第三阶段是在国家的“八五”后期和“九五”期间,即实施产业化的研究,进入市场竞争阶段。在此阶段,我国国产数控装备的产业化取得了实质性进步。在“九五”末期,国产数控机床的国内市场占有率已达 50%,配备的国产数控系统(普及型)也达到了 10%左右。

1.1.3 数控机床的发展趋势

1. 高速、高精加工是数控机床发展的必然趋势

效率、质量是先进制造技术的关键,高速、高精加工技术可极大地提高效率、提高产品的质量和档次以及缩短生产周期和提高市场竞争能力。为此,日本先端技术研究会将其列为 5 大现代制造技术之一,国际生产工程学会(CIRP)将其确定为 21 世纪的中心研究方向之一。在汽车工业领域,年产 30 万辆的汽车制造企业的生产节拍是 40 秒/辆,而且多品种加工是汽车装备必须解决的重点问题之一;在航空和宇航工业领域,其加工的零部件多为薄壁和薄筋,刚度很差,材料为铝或铝合金,只有在高切削速度和切削力很小的情况下,才能对这些筋、壁进行加工。近年来采用大型整体铝合金坯料“掏空”的方法来制造机翼、机身等大型零件,来替代多个零件通过众多的铆钉、螺钉和其他联结方式拼装,使构件的强度、刚度和可靠性得到了提高。这些都对加工装备提出了高速、高精和高柔性的要求。目前,高速加工中心进给速度可达 120m/min,甚至更高,空运行速

度可达150m/min左右,加速度达 $2g$,主轴转速已达 $60\,000\text{r/min}$ 。

在加工精度方面,近10年来,普通级数控机床的加工精度已由 $10\mu\text{m}$ 提高到 $5\mu\text{m}$,精密级加工中心则从 $3\sim 5\mu\text{m}$,提高到 $1\sim 1.5\mu\text{m}$,并且超精密加工精度已开始进入纳米级($0.01\mu\text{m}$)。为了实现高速、高精加工,与之配套的功能部件如电主轴、直线电机得到了快速的发展,应用领域进一步扩大。

2. 5轴联动加工和复合加工机床得到了快速发展

采用5轴联动对三维曲面零件的加工,可用刀具最佳几何形状进行切削,不仅光洁度高,而且效率也大幅度提高。一般认为,1台5轴联动机床的效率可以等于2台3轴联动机床,特别是使用立方氮化硼等超硬材料铣刀进行高速铣削淬硬钢零件时,5轴联动加工可比3轴联动加工获得更高的效益。但过去因5轴联动数控系统、主机结构复杂等原因,其价格要比3轴联动数控机床高出数倍,加之编程技术难度较大,从而制约了5轴联动机床的发展。

当前由于电主轴的出现,使得实现5轴联动加工的复合主轴头结构大为简化,其制造难度和成本大幅度降低,数控系统的价格差距缩小。因此促进了复合主轴头类型5轴联动机床和复合加工机床(含5面加工机床)的发展。

同时,除了5轴联动加工中心外,目前已经出现了7轴、9轴、12轴甚至更多轴的数控机床,多轴联动加工已然成为当前数控加工技术发展的一大趋势。

3. 智能化、开放式、网络化成为当代数控系统发展的主要趋势

21世纪的数控系统是具有一定智能化的系统,智能化的内容包括在数控系统中的各个方面:为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程的自适应控制,工艺参数自动生成;为提高驱动性能及使用连接方便的智能化,如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控方面的内容、方便系统的诊断及维修等。网络化数控系统是近两年国际著名机床博览会的一个新亮点。数控系统的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求,也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。

1.2 数控机床的组成结构及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

如图1-1所示,数控机床由程序编制及程序载体、输入装置、数控系统、伺服驱动装置及位置检测装置、辅助控制装置、机床本体等若干部分组成。

1. 程序编制及程序载体

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,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置,刀具与零件相对运动的尺寸参数,零件加工的工艺路线,切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等,得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标

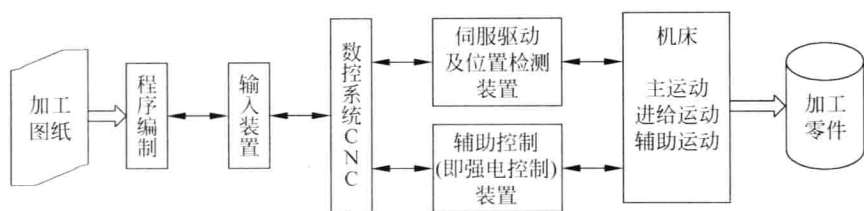


图 1-1 数控机床工作原理框图

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或 CAM 软件编程。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,它可以是磁带、磁盘或 USB 接口存储器等。选择何种存储载体取决于数控装置的类型。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码传递并存入数控系统内。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系统。数控加工程序还可由编程计算机用 RS232 或采用网络通信方式传递到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式,一种是边读入边加工,另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

3. 数控系统

数控系统是数控机床的核心。数控系统从内部存储器中取出或接收输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控系统的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成,刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸要求进行运动,即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据,不能满足要求,因此要进行轨迹插补,也就是在线段的起点和终点坐标间进行数据点的密化,求出一系列的中间点坐标,并向相应坐标轴输出脉冲信号,控制各坐标轴的进给速度、进给方向和进给位移量等。

4. 伺服驱动装置及位置检测装置

伺服驱动装置接收来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件,以加工出符合图样要求的零件。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。伺服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。

位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到机床的数控装置之后,数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,再控制驱动装置按照指令设定值运动。

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指令信号,经过编译、逻辑判别和运动,再经过功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、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、润滑装置的启停,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、编程和修改程序并可直接启动机床开关等特点,现已广泛用做数控机床的辅助控制装置。

6. 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似,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、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。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都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

1.2.2 数控机床的工作原理

在数控机床加工工件轮廓时,刀具的轨迹必须严格准确地按照零件轮廓曲线进行加工,而数控系统的主要任务之一就是控制执行机构按预定的轨迹运动。为实现数控系统的这一目的,插补运算的任务就是在已知加工轨迹曲线的起点和终点间进行线段的极小化,即在每个插补周期内,根据指令、进给速度计算出一个微小的直线段的数据,刀具沿着微小直线段运动,经过若干个插补周期后,刀具从起点运动到终点,完成指定轮廓的加工。

软件插补方法可分为基准脉冲插补和数据采样插补两类。基准脉冲插补法是模拟硬件插补的原理,它把每次插补运算产生的指令脉冲输出到伺服系统,以驱动工作台运动。每发出一个脉冲,工作台移动一个基本长度单位,即脉冲当量。输出脉冲的最大速度取决于执行一次运算所需的时间。该插补方法比较简单,但进给速率受到一定的限制。基准脉冲插补有多种方法,最常用的是逐点比较插补法。

1. 逐点比较插补法直线插补

所谓逐点比较插补法,就是每走一步都要和给定轨迹上的坐标值作一比较,看实际加工点在给定轨迹的什么位置,上方还是下方,或是在给定轨迹的外面还是里面,从而决定下一步的进给方向。走步方向总是向着逼近给定轨迹的方向,如果实际加工点在给定轨迹的上方,下一步走步方向就向着给定轨迹的下方走;如果实际加工点在给定轨迹的里面,下一步走步方向就向着给定轨迹的外面走。如此每走一步,算一次偏差,比较一次,再决定下一步的走向,以逼近给定轨迹,直至加工结束。所以在插补过程中每走一步要完成如下4个工作节拍:

- 偏差判断——判别当前移动点偏离理论曲线的位置。
- 进给控制——确定进给坐标及进给方向。
- 新偏差计算——进给后移动点到达新位置,计算出新偏差值,作为下一步判别的依据。

- 终点判别——把动点当前位置与所需到达理论位置进行比较,判断是否到达终点。

(1) 直线插补计算原理

① 偏差计算公式。按逐点比较插补法的原理,每走一步必须把动点(插值点)的实际位置与给定轨迹的理想位置间的误差以“偏差”形式计算出来,然后根据偏差的正、负决定下一步的走向,以逼近给定轨迹。因此,偏差计算是逐点比较插补法关键的一步。下面以第一象限平面直线为例来推导偏差计算公式。

假定加工如图 1-2 所示的直线 OA ,取直线起点为坐标原点,直线终点 $A(x_e, y_e)$ 为已知,即直线 OA 为给定轨迹。 $m(x_m, y_m)$ 点为加工点。若 m 点在 OA 上,则根据相似三角形的关系可得:

$$x_m / y_m = x_e / y_e$$

$$\text{即} \quad y_m x_e - x_m y_e = 0$$

由此,可定义直线插补的偏差判别式如下:

$$F_m = y_m x_e - x_m y_e \quad (1-1)$$

若 $F_m = 0$,表示动点在直线 OA 上,如 m 。

若 $F_m > 0$,表示动点在直线 OA 上方,如 m' 。

若 $F_m < 0$,表示动点在直线 OA 下方,如 m'' 。

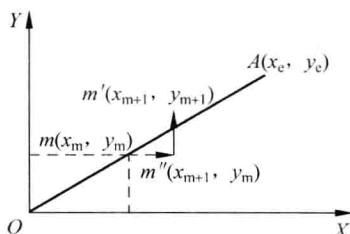


图 1-2 第一象限直线

从图 1-2 上可以看出,第一象限直线插补,当 $F_m > 0$ 时应向 $+X$ 方向进给一步以逼近给定直线,而当 $F_m < 0$ 时应向 $+Y$ 方向进给一步以逼近给定直线。当 $F_m = 0$ 时,动点在直线上,为了插补能继续进行,不得不从无偏差状态进给一步,走到有偏差状态。这时可以向 $+X$ 方向走,也可以向 $+Y$ 方向走,这里规定向 $+X$ 方向走一步。于是我们得到第一象限直线的插补法,即当 $F_m \geq 0$ 时向 $+X$ 进给一步,当 $F_m < 0$ 时向 $+Y$ 进给一步。从起点开始,当两个坐标方向走的步数分别等于 x_m 和 y_m 时停止插补。

因为插补过程中每走完一步都要算一次新的偏差,如果按式(1-1)计算,要做两次乘法和一次减法,还要算新的坐标值,插补速度很慢,因此算法需要简化。

对于第一象限而言,设加工点正处于 m 点,当 $F_m \geq 0$ 时,表明 m 点在 OA 直线上或 OA 直线上方,应沿 $+X$ 方向进给一步。因坐标值的单位为脉冲当量,走步后新的坐标值为:

$$x_{m+1} = x_m + 1$$

$$y_{m+1} = y_m$$

新点的偏差为:

$$\begin{aligned} F_{m+1} &= y_{m+1} x_e - x_{m+1} y_e = y_m x_e - (x_m + 1) y_e \\ &= y_m x_e - x_m y_e - y_e = F_m - y_e \end{aligned} \quad (1-2)$$

若 $F_m < 0$,表明 m 点在直线 OA 的下方,应向 $+Y$ 方向进给一步,走步后新的坐标值为:

$$\begin{aligned}x_{m+1} &= x_m \\y_{m+1} &= y_m + 1\end{aligned}$$

新点的偏差为:

$$\begin{aligned}F_{m+1} &= y_{m+1}x_e - x_{m+1}y_e = (y_m + 1)x_e - x_my_e \\&= y_mx_e - x_my_e + x_e = F_m + x_e\end{aligned}\quad (1-3)$$

式(1-2)和式(1-3)是简化后的偏差计算公式,公式中只有加减运算,而且不必计算每一点的坐标,只需将前一点的偏差值加上或减去终点坐标 x_e 、 y_e ,即可得到新坐标点的偏差值。由于加工起点是坐标原点,故起点的偏差是已知的,即 $F_m=0$ 。这样,随着加工点的前进,每一新加工点的偏差 F_{m+1} 都可由前一点的偏差 F_m 和终点坐标相加或相减得到,非常简单。

② 终点判断的方法。一种方法是设置 $\sum_x$ 、 $\sum_y$ 两个减法计数器。加工开始前,在 $\sum_x$ 、 $\sum_y$ 计数器中分别存入终点坐标值 x_e 、 y_e 。 x 或 y 坐标方向每进给一步时,就在相应的计数器中减去 1,直到两个计数器中的数都减为零时,停止插补,到达终点。

第二种方法是设置一个终点计数器。计数器中存入 x 和 y 两坐标进给的步数总和 $\sum$, $\sum = x_e + y_e$,当 x 或 y 坐标进给时均在 $\sum$ 中减去 1,当 $\sum$ 减到零时,停止插补,到达终点。

第三种方法是选终点坐标值较大的坐标作为计数坐标。如 $x_e \geq y_e$ 则用 x_e 做终点计数器初值,仅 X 轴走步时,计数器才减 1,计数器减到零表示到达终点。如 $x_e < y_e$,则用 Y 轴计数。

③ 插补计算过程。插补计算一般由子程序来完成。子程序每运行一次,进给一步,控制子程序运行时间的间隔即可控制进给速度。可采用定时中断来控制调用插补子程序时间间隔,从而控制进给速度。用逐点比较插补法进行直线插补计算,每走一步,都需要经过以下 4 个步骤:

- 偏差判断——这是逻辑运算,即判别偏差 $F_m \geq 0$ 或 $F_m < 0$,以确定向哪个坐标方向进给和偏差判断方法。
- 坐标进给——根据直线所在象限及偏差符号,决定 $+X$ 、 $+Y$ 、 $-X$ 、 $-Y$ 4 个方向沿哪一方向进给,它是一个逻辑运算过程。
- 偏差计算——进给一步后,计算新加工点的偏差,作为下次偏差判断的依据。它是一个算术运算过程。
- 终点判别——进给一步后,终点计数器减 1,根据计数器的内容是否为 0 判别是否达到终点。若终点计数器为 0,表示到达终点,则设置插补结束标志后返回。主程序接到插补结束标志,读下一组新的数据到插补工作区,清除插补结束标志,重新开始插补。如终点计数器不为零则直接返回,下一次调用时继续插补。

(2) 直线插补计算举例

设加工第一象限直线,起点为坐标原点,终点坐标 $x_e=6$, $y_e=4$,试进行插补计算并画出走步轨迹图。

计算过程如表 1-1 所示,表中的终点判别采用了上述的第二种方法,即设置一终点计

数器,用来寄存 X 和 Y 两个方向的步数和 $\sum$,每进一步 $\sum$ 减 1,若 $\sum = 0$,表示到达终点,停止插补。走步轨迹如图 1-3 所示。

表 1-1 直线插补过程

步数	偏差判断	坐标进给	偏差计算	终点判别
起点			$F_0 = 0$	$\sum = 10$
1	$F = 0$	$+X$	$F_1 = F_0 - y_e = 0 - 4 = -4$	$\sum = 10 - 1 = 9$
2	$F < 0$	$+Y$	$F_2 = F_1 + x_e = -4 + 6 = 2$	$\sum = 9 - 1 = 8$
3	$F > 0$	$+X$	$F_3 = F_2 - y_e = 2 - 4 = -2$	$\sum = 8 - 1 = 7$
4	$F < 0$	$+Y$	$F_4 = F_3 + x_e = -2 + 6 = 4$	$\sum = 7 - 1 = 6$
5	$F > 0$	$+X$	$F_5 = F_4 - y_e = 4 - 4 = 0$	$\sum = 6 - 1 = 5$
6	$F = 0$	$+X$	$F_6 = F_5 - y_e = 0 - 4 = -4$	$\sum = 5 - 1 = 4$
7	$F < 0$	$+Y$	$F_7 = F_6 + x_e = -4 + 6 = 2$	$\sum = 4 - 1 = 3$
8	$F > 0$	$+X$	$F_8 = F_7 - y_e = 2 - 4 = -2$	$\sum = 3 - 1 = 2$
9	$F < 0$	$+Y$	$F_9 = F_8 + x_e = -2 + 6 = 4$	$\sum = 2 - 1 = 1$
10	$F > 0$	$+X$	$F_{10} = F_9 - y_e = 4 - 4 = 0$	$\sum = 1 - 1 = 0$

(3) 4 个象限的直线插补计算

前面所述均为第一象限直线的插补方法。第一象限直线插补方法可做适当处理后推广到其他象限的直线插补。为适用于 4 个象限的直线插补,我们在计算偏差时,无论哪个象限的直线,都用其坐标的绝对值计算。由此,可得直线偏差符号如图 1-4 所示。当动点位于直线上时偏差 $F = 0$,动点不在直线上且偏向 Y 轴一侧时 $F > 0$,偏向 X 轴一侧时 $F < 0$ 。由图 1-4 可以看出,当 $F \geq 0$ 时应沿 X 轴走步,第一、四象限走 $+X$ 方向,第二、三象限走 $-X$ 方向;当 $F < 0$ 时应沿 Y 轴走一步,第一、二象限走 $+Y$ 方向,第三、四象限走 $-Y$ 方向。终点判别也应用终点坐标的绝对值作为计数器初值。

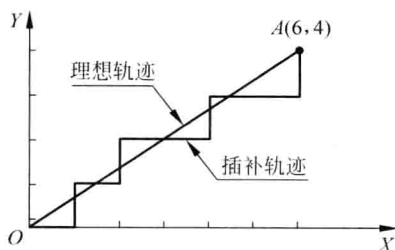


图 1-3 直线插补走步轨迹

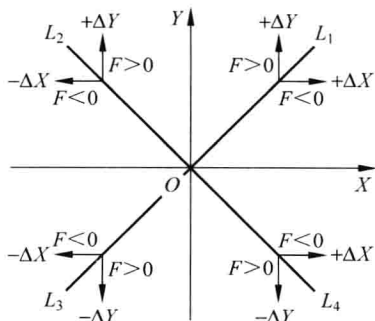


图 1-4 直线偏差符号和进给方向

例如,第二象限的直线 L_2 ,其终点坐标为 $(-x_e, y_e)$,在第一象限有一条和它对称于 Y 轴的直线 L_1 ,其终点坐标为 (x_e, y_e) 。当从 O 点开始出发,按第一象限直线 L_1 进行插补时,若把沿 X 轴正向进给改为沿 X 轴负向进给,这时实际插补出的就是第二象限的直线 L_2 ,而其偏差计算公式与第一象限直线的偏差计算公式相同。同理,插补第三象限终点为 $(-x_e, -y_e)$ 的直线 L_3 ,它与第一象限终点为 (x_e, y_e) 的直线 L_1 是对称于原点的,所以依然按第一象限直线 L_1 插补,只需在进给时将 $+X$ 进给改为 $-X$ 进给, $+Y$ 进给改为 $-Y$ 进给即可。

4 个象限直线插补的偏差计算与进给方向列于表 1-2 中,表中 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 分别表示第一、二、三、四象限的直线。

表 1-2 直线插补计算公式及进给方向

偏差符号 $F_m \geq 0$			偏差符号 $F_m < 0$		
直线线型	进给方向	偏差计算	直线线型	进给方向	偏差计算
L_1 、 L_4	$+X$	$F_m - y_e$	L_1 、 L_2	$+Y$	$F_m + x_e$
L_2 、 L_3	$-X$		L_3 、 L_4	$-Y$	

2. 逐点比较插补法圆弧插补

(1) 圆弧插补计算原理

① 偏差计算公式。如图 1-5 所示,要加工圆弧 AB ,设圆弧的圆心在坐标原点,并已知圆弧的起点 $A(x_0, y_0)$,终点为 $B(x_e, y_e)$,圆弧半径为 R 。令动点为 $m(x_m, y_m)$,它到圆心的距离为 R_m 。从图上可以看出,加工点 m 可能在三种位置上出现,即圆弧上、圆弧内和圆弧外。

当动点 m 位于圆弧上时有: $x_m^2 + y_m^2 - R^2 = 0$

当动点 m 位于圆弧内时有: $x_m^2 + y_m^2 - R^2 < 0$

当动点 m 位于圆弧外时有: $x_m^2 + y_m^2 - R^2 > 0$

因此,可定义圆弧偏差判别式如下:

$$F_m = R_m^2 - R^2 = x_m^2 + y_m^2 - R^2 \quad (1-4)$$

如图 1-5 所示,为了使加工点逼近圆弧,进给方向规定如下:

- 若 $F_m \geq 0$,动点 m 在圆弧上或圆弧外,向 $-X$ 方向进给一步并算出新的偏差。
- 若 $F_m < 0$,动点 m 在圆弧内,向 $+Y$ 方向进给一步并算出新的偏差。

如此走一步算一步,直至到达终点后停止运算,即可插补出如图 1-5 所示的第一象限逆圆弧 AB 。由于偏差计算公式中有平方值计算,故需简化,简化方法介绍如下。

设加工点正处于 $m(x_m, y_m)$ 点,其偏差计算式为:

$$F_m = x_m^2 + y_m^2 - R^2$$

若 $F_m \geq 0$,应沿 $-X$ 轴方向进给一步,到 $m+1$ 点,其坐标值为:

$$x_{m+1} = x_m - 1$$

$$y_{m+1} = y_m$$

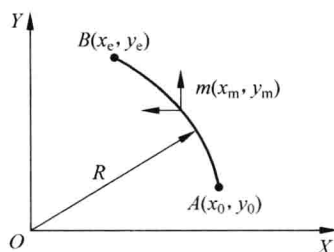


图 1-5 第一象限逆圆弧