

■ 高等职业教育规划教材

数控车床高级工 操作技能鉴定

SHUKONG CHECHUANG GAOJIGONG
CAOZUO JINENG JIANDING

李银涛 主 编
耿桂芝 副主编



化学工业出版社

数控车床技能鉴定培训教程

数控铣床/加工中心操作工技能鉴定培训教程

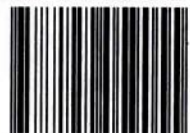
数控车床编程与职业技能鉴定实训

▷ **数控车床高级工操作技能鉴定**



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

ISBN 978-7-122-05905-5



9 787122 059055 >

定价：28.00元

高等职业教育规划教材

数控车床高级工操作技能鉴定

李银涛 主 编

耿桂芝 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以 FANUC 数控系统车床切削加工为主线,围绕数控车床的设备、工艺、编程与操作等核心内容,全面系统地介绍了数控技术的基础知识、数控车床的数控系统、车削加工的工艺分析、编程技术、数控车的操作,用实例的形式讲解数控车床高级工鉴定方法和具体加工中的细节工艺处理问题。书中精选了全国数控车削工艺员、数控车削中高级和全国车削大赛的理论及技能题库。

本书可供高技能型数控人才和高等职业技术学院数控及相关专业师生使用,特别适合于作为国家职业技能鉴定数控中高级技工、技师的考试参考用书,还可作为从事数控机床使用、维修等工作的技术人员的技术人员的培训教材和参考图书。

图书在版编目(CIP)数据

数控车床高级工操作技能鉴定/李银涛主编. —北京:
化学工业出版社, 2009.8
高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-122-05905-5

I. 数… II. 李… III. 数控机床: 车床-操作-高等
学校: 技术学院-教材 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 091808 号

责任编辑: 高 钰
责任校对: 战河红

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 张 辉

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 395 千字 2009 年 8 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: 28.00 元

版权所有 违者必究

前言

数控机床行业的健康发展是确保我国制造水平的重要条件,也是国家经济安全和国防安全的重要保障。数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。又是当今先进制造的核心技术之一。编写此书旨在提高制造水平和对多变市场的适应能力与竞争能力,同时培养既能编程又能熟练操作数控车床,并具备设备的维护保养能力的高技能人才。

本书以国家原劳动和社会保障部 2008 年新颁布的数控职业技能鉴定标准为基点,以工程应用为目的,并结合技师鉴定教学要求,确定了编写的指导思想和教材特色,加强了针对性和实用性,强化了实践技能。本书以企业中使用较广泛、具有先进性的 FANUC 数控系统车床切削加工为主线,围绕数控车床的设备、工艺、编程与操作等核心内容,全面系统地介绍了数控技术的基础知识、数控车床的数控系统、车削加工的工艺分析、编程技术、数控车的操作,用实例的形式讲解数控车床高级工鉴定方法和具体加工中的细节工艺处理问题。书中精选了全国数控车削工艺员、数控车削中高级和全国车削大赛的理论及技能题库,附有操作的数控工艺卡和程序说明,图文并茂,便于读者考核复习。

全书精选了大量典型实例,在素材的组织上,突出了使用特点,内容通俗易懂,可供高技能型数控人才、各高等职业技术学院数控及相关专业使用,特别可作为国家职业技能鉴定数控中高级技工的考试参考用书,还可作为从事数控机床使用、维修等工作的技术人员的培训教材和参考图书。

山东技师学院作为国家级数控培训基地,常年从事数控机床、CAXA 软件的教学培训和承办国家级数控大赛工作。本书的编写人员长期从事数控机床中高级工培训工作,在编写过程中力求将积累的丰富经验和真实感受写入书中。全书由李银涛主编并统稿,杨龙波编写了第一章第一节、第十章的内容,冷雨编写了第一章第二节和第二章第四节的内容,龙吉业编写了第二章第一、二、三、五节的内容,冯建栋编写了第三章的内容,李银涛编写了第四、八、九、十二章的内容,郝纪涛编写了第五、十一章的内容,李溪编写了第六章的内容,蔡文斌编写了第七章的内容。本书在编写过程中参考了在数控技术方面的诸多论著,本书编者对参考文献中的各位作者深表谢意。在编写过程中也得到了山东技师学院领导和机械系领导及同事的关心和大力支持与帮助,在此一并表示感谢。

限于编者的水平和经验,书中欠缺之处,敬请读者批评指正。

编者

2009 年 4 月

目 录

第一章 概述	1	循环指令 G70	63
第一节 数控机床原理	1	第四节 端面粗车循环指令 G72	70
第二节 数控装置的插补原理	6	第五节 复合形状固定循环指令	
习题	9	G73	76
第二章 数控车床加工工艺	10	第六节 端面切槽（钻孔）循环指令	
第一节 数控车床加工对象	10	G74	82
第二节 数控车床加工工艺分析	11	第七节 径向切槽（钻孔）循环指令	
第三节 工件在数控车床上的安装和		G75	88
定位	14	习题	94
第四节 数控车床刀具的选择	16	第六章 螺纹加工	96
第五节 数控车床加工工艺的设计	18	第一节 螺纹加工工艺的确定	96
习题	24	第二节 螺纹加工	98
第三章 FANUC 系统数控车床编程		习题	112
基础	25	第七章 子程序	113
第一节 数控编程概述	25	第一节 子程序调用	113
第二节 程序编制的内容和步骤	26	第二节 子程序编程实例	115
第三节 数控车床坐标系	30	习题	116
第四节 数控车床操作面板介绍及其		第八章 宏程序	117
操作	31	第一节 宏程序的基本概述	117
第五节 准备功能字及工件坐标系的		第二节 A 类宏程序	119
设定	34	第三节 B 类宏程序	125
第六节 数控车床对刀方法和校正	36	习题	131
第七节 程序的结构与基本编程	39	第九章 中级工实操试题	132
第八节 进给功能	44	课题一 中级工实操试题 1	132
第九节 参考点功能及辅助功能	45	课题二 中级工实操试题 2	133
习题	47	课题三 中级工实操试题 3	135
第四章 数控车床刀具补偿功能	48	课题四 中级工实操试题 4	136
第一节 刀具位置补偿	48	课题五 中级工实操试题 5	138
第二节 刀尖半径补偿	49	课题六 中级工实操试题 6	140
习题	53	课题七 中级工实操试题 7	142
第五章 固定形状循环功能	54	课题八 中级工实操试题 8	144
第一节 外径（内径）切削循环指令		课题九 中级工实操试题 9	146
G90	54	课题十 中级工实操试题 10	148
第二节 端面切削循环指令 G94	58	课题十一 中级工实操试题 11	150
第三节 外圆粗车循环指令 G71 与精车		课题十二 中级工实操试题 12	152

课题十三	中级工实操试题 13	154	课题十六	高级工实操试题 16	197
课题十四	中级工实操试题 14	156	第十一章	职业技能鉴定数控车高级工	
课题十五	中级工实操试题 15	158		实操试题	200
课题十六	中级工实操试题 16	160	课题一	职业技能鉴定数控车高级工	
课题十七	中级工实操试题 17	162		实操试题 1	200
课题十八	中级工实操试题 18	164	课题二	职业技能鉴定数控车高级工	
第十章	高级工实操试题	167		实操试题 2	204
课题一	高级工实操试题 1	167	课题三	职业技能鉴定数控车高级工	
课题二	高级工实操试题 2	169		实操试题 3	208
课题三	高级工实操试题 3	171	课题四	职业技能鉴定数控车高级工	
课题四	高级工实操试题 4	173		实操试题 4	212
课题五	高级工实操试题 5	175	课题五	职业技能鉴定数控车高级工	
课题六	高级工实操试题 6	177		实操试题 5	216
课题七	高级工实操试题 7	179	第十二章	职业技能鉴定数控车高级工	
课题八	高级工实操试题 8	181		理论试题	221
课题九	高级工实操试题 9	182	样题一	职业技能鉴定数控车高级工	
课题十	高级工实操试题 10	184		理论试题 1	221
课题十一	高级工实操试题 11	187	样题二	职业技能鉴定数控车高级工	
课题十二	高级工实操试题 12	189		理论试题 2	231
课题十三	高级工实操试题 13	191	参考文献		241
课题十四	高级工实操试题 14	193			
课题十五	高级工实操试题 15	195			

第一章 概 述

第一节 数控机床原理

随着科学技术的不断发展,数控技术在数控机床加工中的应用,成功地解决了某些形状复杂、一致性要求较高的中、小批量零件的加工自动化问题,不仅大大提高了生产效率和加工精度,而且减轻了工人的劳动强度,缩短了生产准备周期,并推动了航空、航天、船舶、国防、机电等工业的发展。目前,数控技术已逐步普及,数控机床在各个工业部门得到了广泛应用,已成为机床自动化的一个重要发展方向。

一、数控系统概述

数控技术,即计算机数字控制技术(Computer Numerical Control,缩写为CNC)。数控的实质是通过特定处理方式下的数字信息(不连续变化的数字量)去自动控制机械装置进行动作,它与通过连续变化的模拟量进行的程序控制(即顺序控制),有着截然不同的性质,区别如下。

(1) 数控与其他自动控制的区别 多轴自动车床、液压仿形铣床及靠模车床等进行的自动加工,其性质都不属于数控。因为它们实施自动控制的方式是通过预先配置并调整好的凸轮、挡块、靠模板、行程开关和液压控制阀等装置去完成的,而数控则是通过数字信息这一特定控制指令,完成其复杂的自动控制功能。

(2) 数控与数显的区别 数显是一种数字显示技术,是通过数据测量和显示的方式,较精确地提供仍需由手工控制其坐标位移所需要的数值,其性质同机床上的刻度盘一样。

(3) 数控与可编程控制的区别 可编程控制器(简称PLC),虽然也是以中央处理器(CPU)为主体,但通常不用微机的编程语言,而是通过它编制出所需要的顺序程序,配合数控机床,与其数控系统交换不同处理方式下的控制信息,以便完成数控机床的主轴速度(S)、刀具管理(T)及各种辅助功能(M)控制。在与机床强电柜一起传递其控制的执行信号时,PC将代替大量的继电器,从而提高机床强电控制的可靠性和灵活性。使用PC还可以大大减轻数控系统的工作负担,以完成更加复杂的工作。因此,完全用PC控制的机床,不能称为数控机床,当它设置在数控系统中充当助手时,这种新型机床称为PCNC数控机床。

电子技术、计算器技术、软件技术业的发展,使得开发新的性能更高的数控系统成为可能。从数控系统诞生到现在已经有几十年的时间,在这几十年间已经发展出很多种数控系统。譬如西门子的 SINUMERIK 系统、富士通公司的 FANUC 系统、三菱公司的 MELDAS 系统、海德汉公司的 HEIDENHAIN 数控系统,华中数控系统等。这几种数控系统中尤以 FANUC 系统、SINUMERIK 系统市场占有率最高。



二、数控技术的特点及发展

1. 数控机床的特点

为了满足市场和科学技术发展的需要,达到现代制造技术对数控技术提出的更高的要求,当前,世界数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面。

(1) 高速化

① 主轴转速:机床采用电主轴(内装式主轴电动机),主轴最高转速达 200000r/min。

② 进给率:在分辨率为 $0.01\mu\text{m}$ 时,最大进给率达到 240m/min 且可获得复杂型面的精确加工。

③ 运算速度:微处理器的迅速发展为数控系统向高速、高精度方向发展提供了保障,开发出 CPU 已发展到 32 位以及 64 位的数控系统,频率提高到几百兆赫、上千兆赫。由于运算速度的极大提高,使得当分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.01\mu\text{m}$ 时仍能获得高达 24~240m/min 的进给速度。

(2) 高精度化 数控机床精度的要求现在已经不局限于静态的几何精度,机床的运动精度、热变形以及对振动的监测和补偿越来越获得重视。

① 提高 CNC 系统控制精度:采用高速插补技术,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单位精细化,并采用高分辨率位置检测装置,提高位置检测精度,位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法。

② 采用误差补偿技术:采用反向间隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具误差补偿等技术,对设备的热变形误差和空间误差进行综合补偿。研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 60%~80%。

(3) 功能复合化 复合机床的含义是指在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的多种要素加工。根据其结构特点可分为工艺复合型和工序复合型两类。工艺复合型机床如镗铣钻复合——加工中心、车铣复合——车削中心、铣镗钻车复合——复合加工中心等。工序复合型机床如多面多轴联动加工的复合机床和双主轴车削中心等。采用复合机床进行加工,减少了工件装卸、更换和调整刀具的辅助时间以及中间过程中产生的误差,提高了零件加工精度,缩短了产品制造周期,提高了生产效率和制造商的市场反应能力,相对于传统的工序分散的生产方法具有明显的优势。加工过程的复合化也导致了机床向模块化、多轴化发展。

(4) 智能化 随着人工智能技术的发展,为了满足制造业生产柔性化、制造自动化的发展需求,数控机床的智能化程度在不断提高。具体体现在以下几个方面。

① 加工过程自适应控制技术。通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电动机的功率、电流、电压等信息,利用传统的或现代的算法进行识别,以辨识出刀具的受力、磨损、破损状态及机床加工的稳定性状态,并根据这些状态实时调整加工参数(主轴转速、进给速度)和加工指令,使设备处于最佳运行状态,以提高加工精度、降低加工表面粗糙度并提高设备运行的安全性。

② 加工参数的智能优化与选择。将工艺专家或技师的经验、零件加工的一般与特殊规律,用现代智能方法,构造基于专家系统或基于模型的“加工参数的智能优化与选择器”,利用它获得优化的加工参数,从而达到提高编程效率和加工工艺水平、缩短生产准备时间的目的。

(5) 信息交互网络化 对于面临激烈竞争的企业来说,使数控机床具有双向、高速的联



网通信功能,以保证信息流在车间各个部门间畅通无阻是非常重要的。既可以实现网络资源共享,又能实现数控机床的远程监视、控制、培训、教学、管理,还可实现数控装备的数字化服务(数控机床故障的远程诊断、维护等)。

(6) 高可靠性 数控机床与传统机床相比,增加了数控系统和相应的监控装置等,应用了大量的电气、液压和机电装置,易于导致出现失效的概率增大;工业电网电压的波动和干扰对数控机床的可靠性极为不利,而数控机床加工的零件型面较为复杂,加工周期长,要求平均无故障时间在2万小时以上。为了保证数控机床有高的可靠性,就要精心设计系统、严格制造和明确可靠性目标以及通过维修分析故障模式并找出薄弱环节。国外数控系统平均无故障时间在7万~10万小时以上,国产数控系统平均无故障时间仅为10000小时左右,国外整机平均无故障工作时间达800小时以上,而国内最高只有300小时。

2. 数控机床的应用范围

数控机床存在一般机床所不具备的许多优点,数控机床的应用范围正在不断扩大,但目前它并不能完全代替普通机床,也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的工件:

- ① 多品种小批量生产的工件;
- ② 形状结构比较复杂的工件;
- ③ 需要频繁改型的工件;
- ④ 价值昂贵,不允许报废的关键工件;
- ⑤ 需要最少周期的急需工件;
- ⑥ 批量较大精度要求高的工件。

3. 数控机床的产生和发展

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。1952年美国麻省理工学院试制成功世界上第一台三坐标立式数控铣床。

数控系统由当初的电子管式起步,经历了以下几个发展阶段:分立式晶体管式—小规模集成电路式—大规模集成电路式—小型计算机式—超大规模集成电路—微机式的数控系统。数控系统在控制性能上向智能化发展。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载并自动优化调整参数。直线电机驱动系统已实用化。

总之,新一代数控系统技术水平大大提高,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。

三、数控机床的分类及组成

1. 数控机床的分类

(1) 按工艺分类

① 普通数控机床。普通数控机床一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床,如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床和数控齿轮加工机床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹仍需人工完成。

② 加工中心。数控加工中心机床简称加工中心(即MC),是带有刀库和自动换刀装置



的数控机床。它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合在一起，零件在一次装夹后，可以将其大部分加工面进行铣、钻、镗、扩、铰及攻螺纹等多工序加工。

③ 特种数控机床。特种数控机床是通过特殊的数控装置并自动进行特种加工的机床，常见的特种数控机床有：数控线切割机床、数控激光加工机床、数控火焰切割机床及数控弯管机床等。

(2) 按运动方式分类

① 点位控制系统。点位控制系统是指数控系统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和定位时间，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主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控弯管机等。图 1-1 所示为数控钻床加工示意。

② 点位直线控制系统。点位直线控制系统是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一个点准确地移动到另一个点，而且保证在两点之间的运动轨迹是一条直线的控制系统。移动部件在移动过程中进行切削。应用这类控制系统的有数控车床、数控磨床和数控铣床等。图 1-2 所示为数控铣床加工示意。

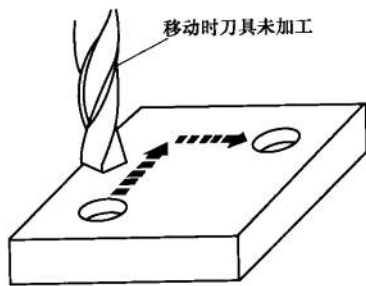


图 1-1 数控钻床加工示意

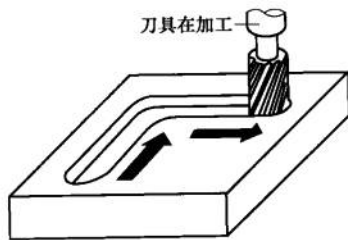


图 1-2 数控铣床加工示意

③ 轮廓控制系统。轮廓控制系统也称连续控制系统，是指数控系统能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行严格连续控制的系统。它不仅能够控制移动部件从一个点准确移动到另一个点，而且还能控制整个加工过程每一点的速度和位移量，将零件加工成一定的轮廓形状。应用这类控制系统的有数控车床、数控铣床、数控齿轮加工机床和加工中心等。图 1-3 所示为轮廓控制系统加工示意。



图 1-3 轮廓控制系统加工示意

(3) 按控制方式分类

① 开环控制数控机床。开环控制系统的特征是系统中没有检测反馈装置，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。

受步进电动机的步距精度和工作频率以及传动机构的传动精度影响，开环系统的速度和精度都较低。但由于开环控制结构简单，调试方便，容易维修，成本较低，仍被广泛应用于经济型数控机床上。典型的开环数控系统如图 1-4 所示。

② 半闭环控制数控机床。半闭环控制系统框图如图 1-5 所示。半闭环控制数控机床不是直接检测工作台的位移量，而是采用转角位移检测元件，测出伺服电动机或丝杠的转角，





图 1-4 开环控制数控机床的系统框图

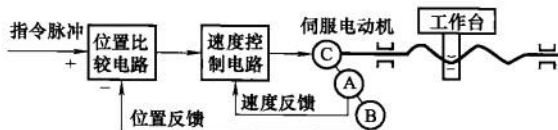


图 1-5 半闭环控制数控机床的系统框图

推算出工作台的实际位移量，反馈到计算机中进行位置比较，用比较的差值进行控制。由于反馈环内没有包含工作台，故称半闭环控制。

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 闭环控制数控机床。闭环控制系统框图如图 1-6 所示。闭环控制系统的特点是，利用安装在工作台上的检测元件将工作台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，直到差值消除为止。可见，闭环控制系统可以消除机械传动部件的各种误差和工件加工过程中产生的干扰的影响，从而使加工精度大大提高。速度检测元件的作用是将伺服电动机的实际转速转换成电信号送到速度控制电路中，进行反馈校正，保证电动机转速保持恒定不变。常用速度检测元件是测速电动机。

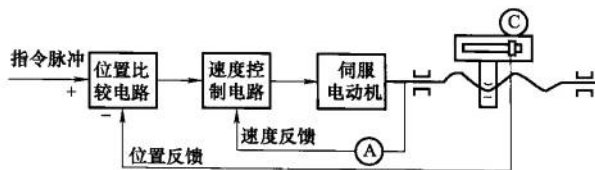


图 1-6 闭环控制数控机床的系统框图

闭环控制的特点是加工精度高，移动速度快。这类数控机床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。因而调试和维修比较复杂，成本高。

2. 数控机床的组成

数控机床由机床本体、数控装置（CNC）、伺服系统、辅助控制装置四大部分组成。

(1) 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数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

(2) 数控装置 数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置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。

(3) 伺服系统 目前驱动装置和位置检测装置已经都集成到了伺服系统之中了。驱动装



置接受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。驱动装置包括控制器（含功率放大器）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，控制驱动装置按照指令设定值运动。

(4) 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、编程和修改程序并可直接启动机床开关等特点，现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

第二节 数控装置的插补原理

一、插补的基本概念

插补是指在轮廓控制系统中，根据给定的进给速度和轮廓线型的要求等“有限信息”，在已知数据点之间插入中间点的方法，这种方法称为插补方法。插补的实质就是数据点的“密化”。插补的结果是输出运动轨迹的中间坐标值，机床伺服驱动系统根据这些坐标值控制各坐标轴协调运动，加工出预定的几何形状。

插补有两层意思：一是用小线段逼近产生基本线型（如直线、圆弧等）；二是用基本线型拟合其他轮廓曲线。

插补运算具有实时性，直接影响刀具的运动。插补运算的速度和精度是数控装置的重要指标。插补原理也叫轨迹控制原理。

二、插补运动的产生

在普通机床上加工较复杂轮廓的零件时，刀具的运动轨迹主要是靠操作者凭借经验及技巧进行控制的。但在数控机床上，却能自动加工出各种复杂轮廓的零件来。各种数控机床加

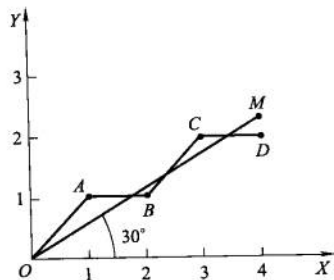


图 1-7 插补运动轨迹

工复杂轮廓的零件时，需要将两个或两个以上的进给轴的直线运动合成，以实现所需要轮廓的运动轨迹。在数控技术中，这种合成的复杂运动称为插补运动。数控装置为了完成机床所需插补运动而进行的一系列运算，即称为插补运算；在其插补运动过程中，每一个单位脉冲即每一步所达到的终点称为插补点。插补运动如图 1-7 所示。

三、插补方法的分类

完成插补运算的装置或程序称为插补器，包括：①硬



件插补器，早期 NC 系统的数字电路装置；②软件插补器，现代 CNC 系统的计算机程序；③软硬件结合插补器，软件完成粗插补，硬件完成精插补。

由于直线和圆弧是构成零件轮廓的基本线型，因此 CNC 系统一般都具有直线插补和圆弧插补两种基本类型。

插补运算所采用的原理和方法很多，一般可归纳为基准脉冲插补和数据采样插补两大类。

四、脉冲增量插补

脉冲增量插补又称基准脉冲插补。脉冲增量插补在插补计算过程中不断向各个坐标发出相互协调的进给脉冲，驱动各坐标轴的电动机运动。在数控系统中，一个脉冲所产生的坐标轴位移量叫做脉冲当量，脉冲当量是脉冲分配的基本单位，按机床设计的加工精度选定。普通精度的机床取 0.01mm，较精密的机床取 0.001mm 或 0.005mm。

每次插补结束仅向各运动坐标轴输出一个控制脉冲，各坐标仅移动一个脉冲当量或行程的增量。脉冲序列的频率代表坐标运动的速度，而脉冲的数量代表运动位移的大小。

这类插补运算简单，主要用于步进电动机驱动的开环数控系统的中等精度和中等速度要求的经济型计算机数控系统。也有的数控系统将其用做数据采样插补中的精插补。

应用插补原理的方法有很多种，如逐点比较法、数值积分法及单步追踪法等。在对平面曲线进行插补的各种方法中，最常用的就是逐点比较法。采用这种方法进行插补的优点是运算直观，插补误差小于一个脉冲当量，输入脉冲的速度变化小，以及调节方便、简单易行。

1. 逐点比较法的工作节拍

逐点比较法是一种边判别边逼近的方法，故又称为逼近法或区域判别法。在逐点比较法的应用中，插补点在主运动坐标轴方向每进给一步，都必须经过图 1-8 所示的四个工作节拍。

(1) 偏差判别 在刀具进给的过程中，因为刀尖（刀位点）位移的实际轨迹点一般不会落到理想轨迹上，所以，通过偏差判别（由计算机按其轨迹方程分析动点位置）后，即可知道加工点是否偏离了理想轨迹，以及偏离的情况如何。对于圆弧插补，其动点位置相对于理想轨迹圆的情况有落到圆内、落到圆外和落到圆上三种情况。这一节拍非常重要，因为通过这一节拍进行准确判别后，将决定下一步该向哪个方向进给。

(2) 刀具进给 根据偏差判别的结果，即可控制刀具向靠近其理想轨迹的方向进给一步，这一步既可以是主运动坐标轴方向的，也可以是从运动坐标轴方向的（通过计算机分析和确定），也可以两者同时进给。

(3) 偏差计算并判别 当刀具在其偏差判别节拍之后进给一步，从而到达一个新插补点位置时，这个新的插补点是否在其理想轨迹上或是否距离理想轨迹小于一个脉冲，则需要进行计算并判别。如果不是，则需要确定其偏离的位置及方向，以便继续进行插补工作。

(4) 终点判别 在插补过程中，每位移一步，就判别一次该插补点是否到达终点。当经过偏差判别之后已确定插补点尚未到达终点（如图 1-8 中的“非”）时，计算机就自动重复进行前述三个工作节拍，这样一直循环下去，直到被确认到达终点，数控装置就会向伺服系统发出停止进给的命令，该加工程序段的插补过程也就结束了。

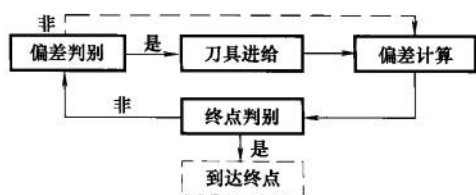


图 1-8 四个工作节拍

2. 直线插补的过程分析

【例 1-1】 已知插补要求如图 1-7 所示，试按逐点比较法分析所示直线的插补过程。

当第一个主运动脉冲从正 X 方向位移一步时，从运动脉冲是否向着正 Y 方向位移以及位移量为多少，这在主运动坐标轴执行之前，已由计算机内的运算器处理好了。即按理想轨迹直线 OM 的斜率计算出 X 方向位移一步，Y 方向相应位移 0.577 步，而 0.577 步不能实现。当沿 Y 方向位移一步即在 A 点时，插补点与理想轨迹点的距离（Y 方向上）为 0.423 步，故 Y 方向应该继续位移，其位移在正 Y 方向上大于 0.577 步，为一个脉冲。

第一步位移进行后，经过偏差计算，知道其插补点 A 位于直线 OM 的上方，故 Y 坐标轴在下一步位移中不能继续沿其正向运动，也不能沿负向运动（ $1 - 0.423 = 0.577$ 步，即运动后偏离增大）。而应暂停 Y 坐标轴运动，并沿 X 坐标轴正方向位移一步，以向理想轨迹靠拢。

执行刀具进给，其主运动在正 X 方向走完一步，使插补点到达 B 点位置。

第三步的插补点在什么位置以及是否到达终点，都将由偏差计算这一工作节拍予以确定。经高速计算分析后，确认这一步的插补点未到达终点及下一个插补点 C 的偏离位置类似于 A 点，然后将通过终点判别并把上述偏差计算和分析的结果移至偏差判别环节，以执行正 Y 和正 X 方向各进给一个脉冲的第三步位移。

最后一步插补（C 点到达 D 点）执行前，经终点判别其主运动将到达终点，数控装置会自动向伺服系统发出插补点到达 D 点后停止进给的命令。

这时，D 点与 M 点在 X 坐标轴方向上的位移已经相同，而在 Y 坐标轴方向上则相差 0.31 个脉冲。因这一插补误差小于半步，故将忽略不计，即当插补点到达 D 点时，可认为实际加工终点达到 M 点。

3. 圆弧插补的过程分析

圆弧插补的过程与直线插补的过程基本一样，所不同的是给定的信息为圆方程，故在采用逐点比较法进行的插补工作中，计算机将按给定圆方程，对每一步插补运动进行十分烦琐的计算与分析，其插补的速度也将大大慢于直线插补的速度。

【例 1-2】 已知插补要求如图 1-9 所示，试按逐点比较法分析其圆弧（半径为 10 个脉冲）插补的过程。

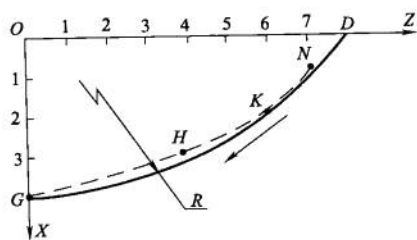


图 1-9 圆弧插补过程

设第一个主运动脉冲从正 X 方向位移一步时，负 Z 方向经计算和分析后也应位移一步，使插补点到达 N 点位置。

偏差判别的结果是，N 点落在圆内，下一步应朝着圆外并按靠近理想轨迹的走向位移，即两运动方向将继续为正 X 方向和负 Z 方向。

刀具进给，使插补点到达 K 点位置（经计算得知 K 点已落到圆上），经过偏差计算后，为下一步

进行偏差判别准备依据。

因终点判别为“非”，插补工作节拍由重复移至偏差判别，得出下一步位移应朝着 X 方向位移一个脉冲，而负 Z 方向则应位移两个脉冲，插补点 H 落到圆内。

如此继续进行下去，最后一步将在正 X 方向位移一个脉冲、负 Z 方向位移四个脉冲，其插补点正好到达与理想轨迹终点相重合的 G 点位置，并结束其插补工作。



五、数据采样插补法

采用时间分割思想,根据编程的进给速度将轮廓曲线分割为每个插补周期的进给直线段(又称轮廓步长)进行数据密化,以此来逼近轮廓曲线。然后再将轮廓步长分解为各个坐标轴的进给量(一个插补周期的进给量),作为指令发给伺服驱动装置。该装置按伺服检测采样周期采集实际位移,并反馈给插补器并与指令进行比较,有误差就运动,误差为零则停止,从而完成闭环控制。

数据采样插补又称为时间分割插补或数字增量插补,这类算法插补结果输出的不是脉冲,而是标准二进制数。

数据采样插补方法有直线函数法、扩展 DDA、二阶递归算法等。



习 题

1. 数控机床的特点是什么?
2. 数控机床的产生和发展是怎样的?
3. 数控机床的分类及组成是什么?
4. 什么是插补?插补是怎样产生的?
5. 插补方法是如何分类的?
6. 逐点比较法的工作节拍包括哪些步骤?



第二章 数控车床加工工艺

第一节 数控车床加工对象

数控车床即装备了数控系统的车床。由数控系统通过伺服驱动系统去控制各运动部件的动作，主要用于轴类和盘类回转体零件的多工序加工，具有高精度、高效率、高柔性化等综合特点，适合中小批量形状复杂零件的多品种、多规格生产。数控车削加工是数控加工中用得最多的加工方法之一，由于数控车床具有精度高、能做直线和圆弧插补以及在加工过程中能自动变速的特点，其工艺范围较普通机床宽得多。与传统车床相比，数控车床比较适合于车削具有以下要求和特点的回转类零件。

1. 精度要求高的零件

由于数控车床的刚性好，制造和对刀精度高，以及能方便和精确地进行人工补偿甚至自动补偿，所以它能够加工尺寸精度要求高的零件。在有些场合可以以车代磨。此外，由于数控车削时刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的，再加上机床的刚性好和制造精度高，所以它能加工对母线直线度、圆度、圆柱度要求高的零件。如图 2-1 所示的高精度轴类零件。

2. 表面粗糙度小的回转体零件

数控车床能加工出表面粗糙度小的零件，如图 2-2 所示的回转体零件。主要是因为数控机床的刚性好和制造精度高，还由于它具有恒线速度切削功能。在材质、精车留量和刀具已定的情况下，表面粗糙度取决于进给速度和切削速度。使用数控车床的恒线速度切削功能，就可选用最佳线速度来切削端面，这样切出的粗糙度既小又一致。数控车床还适合于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件。粗糙度小的部位可以用减小进给速度的方法来达到，而这在传统车床上是做不到的。

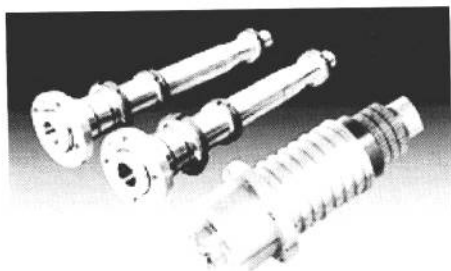


图 2-1 高精度轴类零件

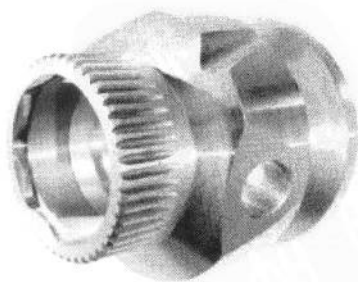


图 2-2 表面粗糙度小的回转体零件

