

高等职业教育

技能型紧缺人才

培养教材

数控机床电气控制

● 杨克冲 陈吉红 郑小年 主编



华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制/杨克冲 陈吉红 郑小年 主编

武汉:华中科技大学出版社,2005年1月

ISBN 7-5609-3315-7

I. 数…

II. ①杨… ②陈… ③郑…

III. 数控机床-程序设计

IV. TG659

数控机床电气控制

杨克冲 陈吉红 郑小年 主编

策划编辑:钟小珉

封面设计:刘 卉

责任编辑:姚 幸

责任校对:刘 飞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:15.25

字数:277 000

版次:2005年1月第1版

印次:2005年9月第2次印刷

定价:19.80元

ISBN 7-5609-3315-7/TG·60

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书包括绪论、数控机床电气控制基础知识、数控系统基本知识、数控机床进给驱动系统、数控机床主轴控制系统、数控机床PLC控制、数控系统的电磁兼容设计、数控机床电气控制电路设计实例等内容。

本书以数控原理为理论基础,运用控制论的信息传递、处理与反馈的方法,以数控机床的计算机数控装置、常用执行电器与控制电器,执行部件(进给伺服电动机、主轴电动机等)与控制部件(伺服驱动单元、PLC可编程控制器等)及其组成的数控机床自动控制线路为主线,力求使读者通过学习,了解和掌握数控机床电气控制原理、结构及初步设计的技能,并具有一定的数控机床电气控制设计的创新能力。

本书可作为高等工科院校的机械制造、机电一体化、自动控制及其他相关专业学生学习数控技术的教材,也可作为高等职业技术学院、中等专业学校数控专业的教材,还可供有关教师与工程技术人员参考。

高等职业教育技能型紧缺人才培养教材

数控技术应用专业系列教材编委会

主 任 陈吉红 教授, 博导 华中科技大学

委 员 (以姓氏笔画为序)

万金保	副院长	深圳职业技术学院
王培林	副院长	广东技术师范学院
刘小芹	副院长	武汉职业技术学院
刘兰明	副院长	邯郸职业技术学院
刘惠坚	副院长	广东机电职业技术学院
刘继平	副院长	湖南工业职业技术学院
刘瑞池	副院长	芜湖职业技术学院
陈德清	副院长	安徽职业技术学院
李本初	副院长	湖北职业技术学院
张 元	校 长	郑州工业高等专科学校

序

为实现全面建设小康社会的宏伟目标,使国民经济平衡、快速发展,迫切需要培养大量不同类型和不同层次的人才。因此,党中央明确地提出人才强国战略和“造就数以亿计的高素质劳动者,数以千万计的专门人才和一大批拔尖创新人才”的目标,要求建设一支规模宏大、结构合理、素质较高的人才队伍,为大力提升国家核心竞争力和综合国力、实现中华民族的伟大复兴提供重要保证。

制造业是国民经济的主体,社会财富的60%~80%来自于制造业。在经济全球化的格局下,国际市场竞争异常激烈,中国制造业正由跨国公司的加工组装基地向世界制造业基地转变。而中国经济要实现长期可持续高速发展,实现成为“世界制造中心”的愿望,必须培养和造就一批掌握先进数控技术和工艺的高素质劳动者和高技能人才。

教育部等六部委启动的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养工程”,是落实党中央人才强国战略,培养高技能人才的正确举措。针对国内数控技能人才严重缺乏,阻碍了国家制造业实力的提高,数控技能人才的培养迫在眉睫的形势,教育部颁布了《两年制高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案》(以下简称《两年制指导方案》)。对高技能人才培养提出具体的方案,必将对我国制造业的发展产生重要影响。在这样的背景下,华中科技大学出版社策划、组织华中科技大学国家数控系统技术工程研究中心和一批承担数控技术应用专业领域技能型人才培养培训任务的高等职业院校编写两年制“高等职业教育数控技术应用专业系列教材”,为《两年制指导方案》的实施奠定基础,是非常及时的。

与普通高等教育的教材相比,高等职业教育的教材有自己的特点,编写两年制教材更是一种新的尝试,需要创新、改革,因此,希望这套教材能够做到:

体现培养高技能人才的理念。教育部部长周济院士指出:高等职业教育的主要任务就是培养高技能人才。何谓“高技能人才”?这类人才既不是“白领”,也不是“蓝领”,而是应用型“白领”,可称之为“银领”。这类人才既要能动脑,更要能动手。动手能力强是高技能人才最突出的特点。本套系列教材将紧扣该方案中提出的教学计划来编写,在使学生掌握“必需够用”理论知识的同时,力争在学生技能的培养上有所突破。

突出职业技能培养特色。“高职高专教育必须以就业为导向”,这一点已为人们所广泛共识。目前,能够对劳动者的技能水平或职业资格进行客观公正、科学规范评价和鉴定的,主要是国家职业资格证书考试。随着我国职业准入制度的完善和劳动就业市场的规范,职业资格证书将是用人单位招聘、录用劳动者必备的依据。以

“就业为导向”,就是要使学校培养人才与企业需求融为一体,互相促进,能够使学生毕业时就具备就业的必备条件。这套系列教材的内容将涵盖一定等级职业考试大纲的要求,帮助学生在学完课程后就有能力获得一定等级的职业资格证书,以突出职业技能培养特色。

面向学生。使学生建立起能够满足工作需要的知识结构和能力结构,一方面,充分考虑高职高专学生的认知水平和已有知识、技能、经验,实事求是;另一方面,力求在学习内容、教学组织等方面给教师和学生提供选择和创新的空間。

两年制教材的编写是一个新生事物,需要不断地实践、总结、提高。欢迎师生对本系列教材提出宝贵意见。

高等职业教育数控技术应用专业系列教材编委会主任
国家数控系统技术工程研究中心主任 **陈吉红**
华中科技大学教授、博士生导师

2004年8月18日

前 言

本书是为高等工科院校的机械制造、机电一体化、自动控制及其他专业学生学习“数控机床电气控制”课程而编写的教材。

当前,机械制造业发展的一个明显趋势是越来越广泛地应用数控技术。普通机械逐渐被高效率、高精度的数控机械所代替,数控机床则是数控机械的典型代表。

1946年世界上诞生了第一台电子计算机,它标志着人类创造了可部分代替脑力劳动的工具。它与人类在生产活动中创造的那些只是改善或减轻体力劳动的工具相比起了质的变化,它为人类进入信息社会奠定了基础。在1952年,计算机技术应用到了机床上,在美国,诞生了第一台数控机床。从此,传统机床发生了质的变化。20世纪80年代以后,随着计算机技术的飞速发展,数控技术得到了迅速发展,数控系统的性能和品质也有了极大的提高,此时的CNC(计算机数控)机床称为现代数控机床。现代数控机床与50多年前的数控机床在加工速度与加工精度方面已经有着悬殊的差别。数控机床的发展是制造技术发展的结果,也是机床自动化技术,特别是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业的渗透而形成的机电一体化产品的结果。现代数控系统的技术几乎覆盖了自动控制技术、电子技术、数字技术、通信技术、机械制造技术等诸多领域。

本书以数控原理为理论基础,运用控制论的信息传递、处理与反馈的方法,以数控机床的计算机数控装置、常用执行电器与控制电器、执行部件(进给伺服电动机、主轴电动机等)与控制部件(伺服驱动单元、PLC可编程控制器等)及其组成的数控机床自动控制线路为主线,力求使读者通过学习,了解和掌握数控机床电气控制原理、结构及初步设计的技能,并具有一定的数控机床电气控制设计的创新能力。

本书的第1章由杨克冲编写,第2章、第7章由郑小年编写,第3章由陈兵编写,第4章、第5章由许锦兴、徐建春合作编写,第6章由徐建春编写,第8章由李小华编写。全书由杨克冲、陈吉红、郑小年统稿和定稿。在成书过程中,金健、柯万宇、汪霞参加了部分工作。

限于编者的水平,加上数控技术日新月异的发展,许多问题还有待于探讨。因此,本书的谬误与不妥之处在所难免,恳请读者不吝赐教,提出批评意见。

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 数控技术发展的回顾	(1)
1.2 现代数控技术发展趋势	(2)
1.3 数控机床的机械参数及其对系统的影响	(5)
1.4 本课程的特点与学习方法	(10)
第2章 数控机床电气控制基础知识	(12)
2.1 数控机床常用控制电器及选择	(12)
2.2 机床电气原理图的画法规则	(42)
2.3 数控机床电气控制的逻辑表示	(46)
2.4 组成电气控制线路的基本规律	(47)
2.5 数控机床电气控制线路应用示例	(52)
习题及思考题	(55)
第3章 数控系统基本知识	(56)
3.1 数控系统的组成	(56)
3.2 数控系统的分类	(60)
3.3 计算机数控装置的接口	(65)
习题及思考题	(83)
第4章 数控机床进给驱动系统	(84)
4.1 概述	(84)
4.2 步进电动机驱动的进给系统	(90)
4.3 交流伺服电动机驱动的进给系统	(96)
4.4 进给驱动装置的接口和选型	(100)
4.5 位置检测元件	(115)
4.6 数控机床的进给传动系统	(124)
习题及思考题	(127)
第5章 数控机床主轴控制系统	(128)
5.1 概述	(128)
5.2 普通主轴的控制	(129)
5.3 数控机床变频调速主轴和伺服主轴的工作原理	(134)
5.4 主轴驱动装置的接口和选型	(140)

5.5 数控机床的主轴系统	(145)
习题及思考题	(153)
第6章 数控机床PLC控制	(154)
6.1 可编程控制器概述	(154)
6.2 PLC应用的基本电气知识	(164)
6.3 数控机床PLC系统的设计及调试	(171)
6.4 数控机床PLC控制应用实例	(177)
习题及思考题	(186)
第7章 数控系统的电磁兼容设计	(187)
7.1 电磁兼容性概述	(187)
7.2 接地技术	(188)
7.3 屏蔽技术	(196)
7.4 滤波技术	(199)
7.5 设计指南	(206)
习题及思考题	(208)
第8章 数控机床电气控制电路设计实例	(209)
8.1 数控机床电气控制电路设计原则	(209)
8.2 TK1640 数控车床电气控制电路	(211)
8.3 XK714A 数控床身铣床电气控制电路	(218)
习题及思考题	(225)
附录 电气图常用文字、图形符号	(226)
参考文献	(233)

第1章 绪 论

1946年世界上诞生了第一台电子计算机,标志着人类创造了可部分代替脑力劳动的工具。它与人类在生产活动中创造的那些只是改善或减轻体力劳动的工具相比,有了质的飞跃,它为人类进入信息社会奠定了基础。50多年来,以计算机为主导和核心的信息技术,通过电视、现代通信等手段提高了人类的生活质量,更促使生产力飞速向前发展,开创了人类文明史、生产史的新纪元。

在1952年,计算机技术应用到了机床上,在美国诞生了世界上第一台数控机床。从此,传统的机床发生了质的变化。

1.1 数控技术发展的回顾

从第一台数控机床诞生至今50多年以来,数控机床的核心——数控系统的发展经历了两个阶段和六代的发展。

1.1.1 数控(NC)阶段(1952—1970年)

早期的计算机运算速度低,这对当时的科学计算和数据处理影响不大,但不能适应机床实时控制的要求。于是,人们不得不采用数字逻辑电路,组成机床专用计算机。这种数控装置称为硬件连接数控装置(HARD—WIRED NC),简称为数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段又经历了三代:1952年的第一代——电子管计算机组成的数控装置;1959年的第二代——晶体管计算机组成的数控装置;1965年的第三代——小规模集成电路计算机组成的数控装置。

1.1.2 计算机数控(CNC)阶段(1970年——至今)

1970年研制成功了大规模集成电路,并将其用于通用小型计算机。此时的小型计算机,其运算速度比以往的计算机有了大幅度的提高,比专用计算机成本低、可靠性高。于是,小型计算机作为数控系统的核心部件,数控机床进入了计算机数控(CNC)阶段。1971年,美国INTEL公司在世界上第一次将计算机的两个最核心的部件——运算器和控制器,采用大规模的集成电路制造技术,将其集成在一块芯片上,称之为微处理器(Microprocessor),又称为中央处理单元(CPU)。1974年,微处理器应用于数控系统。

虽然早期的微处理器速度和功能对数控装置来说有局限性,但可以通过多处

理器结构来解决相应的问题。由于微处理器是通用计算机的核心部件,故此时的数控系统仍称为计算机数控。到了1990年,PC机(个人计算机或称微机)的性能已发展到很高的水平,可满足数控系统核心部件的要求,而且PC机的生产批量很大,软件资源丰富,价格便宜,可靠性高,数控系统从此进入了基于PC(PC Base)的阶段。

总之,计算机数控阶段也经历了三代。即1970年的第四代——小型计算机数控系统;1974年的第五代——微处理器组成的数控系统;1990年的第六代——基于PC的数控系统。

必须指出,数控系统50多年来经历了二个阶段六代的发展,只是发展到了第五代以后,才从根本上解决了数控系统可靠性低、价格昂贵、应用很不方便等极为关键的问题。因此,即使在工业发达国家,数控机床大规模地得到应用和普及也是在20世纪的70年代末、80年代初的事情,也就是说,数控技术经过了近30年的发展才走向普及应用。

正如前述,20世纪80年代以后,随着计算机技术的飞速发展,数控系统的性能和品质也得到极大的提高,这时的数控机床一般称为现代数控机床。现代数控机床与以往的数控机床在加工精度与加工速度方面已经有着天壤之别。加工精度从20世纪50年代的0.01 mm到现在的0.001 μm ,提高了 10^4 的数量级;加工速度从每分钟几十毫米提高到每分钟几十米,提高了 10^3 的数量级。数控机床的发展是制造技术发展的结果,也是机床自动化技术,特别是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业的渗透而形成的机电一体化产品的结果。现代数控系统的技术几乎覆盖了自动控制技术、电子技术、数字技术、通信技术、机械制造技术等诸多领域。

1.2 现代数控技术发展趋势

1.2.1 高速、高精加工

随着汽车制造业、电子工业、模具工业、航空工业和国防工业的发展,要求机床的加工速度和精度进一步提高。

数控机床加工的输入信息主要是刀具的轨迹和刀具相对工件运动的速度。其输出是精度合格的机械零件。如果把加工程序的信息输入到数控机床后,它们的信号在传递过程中受阻塞、失真、延时,都会使输出的信息不可能准确地复制输入的信息,因此机床加工零件的精度和速度得不到保证。对于高速、高精加工,整个信息流都必须高速而不畸变地转化成刀具或工作台运动,才能在高速时加工出高精度的机械零件。

目前,加工中心主轴转速最高达40 000 r/min、进给速度达24 m/min~30 m/min,快速移动速度可达60 m/min,定位精度都在几微米。要达到上述要求,

机床的数控系统和驱动系统应具有以下特点。

1. 采用高速高精的数控系统

数控系统要采取一定的措施,这些措施包括:

- (1) CNC 系统占用空间小、处理速度快、控制精度高;
- (2) 为了防止扰动,采用数字滤波器技术;
- (3) 采用前馈控制技术,补偿由于伺服滞后带来的误差;
- (4) 采用“前瞻”控制技术,在程序执行前对运动数据进行计算处理,并进行多级缓冲,使刀具高速运动时,误差仍然很小;
- (5) 采用“纳米控制”技术,使系统检测分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 时,插补分辨率可以提高到 1 nm ,大大提高了零件加工的精度和降低了表面粗糙度;
- (6) 采用冲击控制(加速度控制)技术,以改善加工曲率变化很大或加减速率变化很大时对零件精度的影响。

2. 采用直线电动机作为进给伺服系统

随着直线电动机技术的成熟,采用直线电动机作为进给驱动,快移速度达 60 m/min ,目前已有产品供应用户。

3. 采用高速内装式主轴

采用高速内装式主轴的加工中心已较普遍,使主轴转速进一步提高,国外已有主轴转速达 $40\text{ }000\text{ r/min}$ 的立式加工中心机床。我国洛阳轴承研究所的系列内装式交流主轴电动机(电主轴)转速也可达 $10\text{ }000\text{ r/min}$ 以上。

4. 采用高速永磁同步电动机

交流永磁同步电动机的最高转速已由 $2\text{ }000\text{ r/min}$ 提高到 $3\text{ }000\sim 4\text{ }000\text{ r/min}$,小功率电动机达到 $5\text{ }000\text{ r/min}$,使机床进给速度进一步提高。

1.2.2 数控系统具有多轴控制、多轴联动和复合加工的控制功能

理论上,数控机床只要3轴联动,对于三维曲面均能加工。实际上3轴联动对于三维曲面加工,由于很难用上刀具的最佳几何形状进行切削,不仅加工效率低且表面粗糙度高,往往采用手动进行修补,而且在修补的过程中,已加工表面也可能丧失精度。

5轴(坐标)联动数控机床,是数控机床技术制高点标志之一,5轴联动数控铣床主要用于大型螺旋桨空间曲面加工,除X、Y、Z这3轴外,主要还有刀具轴旋转、工作台旋转这两种方式的复合运动。采用5轴联动,可以使用刀具的最佳几何形状对工件进行切削。

这里顺便提到用于大型空间曲面加工的5轴联动铣床。大型空间曲面高精度加工设备主要用于舰船螺旋桨加工,能有效降低舰船噪声,提高动力的效率,因此,该技术和设备在军事领域一直都非常敏感,如曾引发轰动一时的美、日制裁原苏联

的“东芝事件”和8年前美国国会因当时我国进口16台用于飞机制造的此类多轴联动旧机床而炮制所谓要求制裁我国的考克斯报告。这些至今仍受禁运的数控5轴联动产品技术,我国都已陆续掌握。2001年的第七届北京国际机床博览会(CIMT)上,武汉华中数控股份有限公司与桂林机床股份有限公司采用国产数控系统合作生产的5轴联动龙门铣床,已成功地推向市场。

复合加工机床在工件一次安装后,就能完成全部加工工序,不但提高了加工效率,而且提高了精度,实现精益生产。复合加工机床实现了工序复合和工种复合,而工序复合和工种复合是机床集成技术发展最活跃的因素,是当今制造技术发展的总趋势。目前,复合机床产品正在趋于成熟。例如我国江苏多菱数控机床股份有限公司的车床和加工中心复合的CXH7525车铣中心,工件主轴转速6 000 r/min,刀具主轴转速10 000 r/min。武汉重型机床公司的CR5116带Y轴立式车削中心,车刀刀库容量10把,铣刀刀库容量32把。对于复合数控机床,数控装置需要增加可以用于进行复合加工的功能,比如铣床需要增加螺锥线功能、螺旋线功能、三维圆弧功能、刀具中心点控制功能。至于刀具补偿功能,既要考虑车加工,又要考虑铣加工等。

总之,随着多轴加工机床、复合机床和并联机床的发展,要求数控系统具有相应功能。

1.2.3 数控系统开放化、智能化和网络化

一般数控系统(NC系统)是由专业制造商研究、开发和生产的,而机床制造商希望NC系统能部分代替机床设计师和操作者的大脑,具有一定的智能,能把特殊的加工工艺、管理经验和操作技能嵌入NC系统,同时也希望具有图形交互、诊断等功能。因此,要求这种商用的NC系统具有友好的人机界面和开发平台,也就是说要求CNC控制器透明以使机床制造商和最终用户可以自由地实现自己的思想。这就产生了开放结构的NC系统。机床制造商可以在该开放系统的平台上增加一定的硬件和软件构成自己的系统。

目前,开放式数控系统结构主要有两种形式。一种是基于PC的CNC系统(有些文献称为PC Base),这种系统以PC机为平台,开发数控系统的各种功能,通过伺服卡控制坐标轴电动机的运动。SIEMENS公司推出的SINUMERIK 840Di是基于PC平台的开放的数控系统,840Di建立在标准的微软NT操作系统和带奔腾处理器的工业等级PC基础上。在国内,武汉华中数控股份有限公司推出的高性能、低价位的华中世纪星系列HNC-21型也是基于PC平台具有4轴闭环控制的开放式数控系统。

另一种是PC嵌入式。这种系统的基本结构为CNC+PC主板(有些文献称之为NC Base),即把一块PC主板插入传统的CNC数控系统中,PC板主要运行在非

实时控制的状态,而 CNC 主要运行在以坐标轴运动为主的实时控制的状态,或 CNC 作为数控功能运行,而 PC 板作为用户的人机接口平台。国外主流 CNC 数控系统生产厂家,主要采用这一种形式,以发挥他们 CNC 产品的优势。这种系统的开放主要是人机接口的开放,而系统的核心并没有开放。

根据我国的国情,国家不可能拿出很多的资金用于制造 NC 专用芯片,国外数控系统生产厂家也不可能转让其核心技术。因此,发展我国数控技术采用 PC Base 的方式应该是优先的选择。这是因为 PC 的发展可以说是一日千里,其硬件、软件资源也日趋完善、丰富,这样基于 PC 的数控系统,其功能、性能随着 PC 的发展而发展,而我们则可以把研究的力量集中于发展数控软件。

开放式数控系统以其极大的优点显示出强大的生命力。共享 PC 体系结构的开放性和标准化以及其日新月异的技术成就,把运动控制、逻辑控制、人机界面、数据处理、通信等功能集成在一台 PC 中,这是开放式数控系统的发展趋势。

1.3 数控机床的机械参数及其对系统的影响

数控机床的主轴、进给轴伺服控制系统大多数是机电式的,其输出都包含有某种类型的机械环节和元件,它们是控制系统的重要组成部分,其性能直接影响数控机床的品质。这些机械环节和元件一旦制造好后,其性能就难以显著地更改,远不如电气部分灵活易变。因此,数控机床的机械与数控装置的设计人员都必须明确地了解机械环节和元件的参数对机床数控系统性能的相互作用,以便密切配合。在设计阶段,就应仔细考虑相互间的各种要求,做出合理的设计。从机械角度来看,需要考虑的包括:有关的负载,驱动力或驱动力矩,摩擦力或摩擦力矩,死区、传动系统的间隙、刚性、惯性矩和共振频率等。

1.3.1 摩擦

相互间接触的两物体有相对运动或有运动趋势时就存在摩擦。在接触面间产生的切向运动阻力即为摩擦力。在应用上,摩擦力可分为三类:黏性摩擦力、库仑摩擦力和静摩擦力。

黏性摩擦力是和运动速度成正比的摩擦力,如图 1-1 所示。

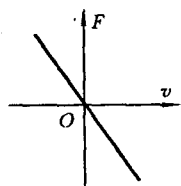


图 1-1 黏性摩擦

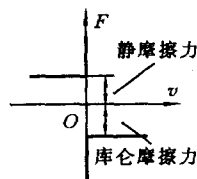


图 1-2 静摩擦与库仑摩擦

库仑摩擦力是物体运动时接触面对运动物体所呈现的阻力(或阻力矩),它是一个常数,如图 1-2 所示。

静摩擦力是物体有运动倾向但仍处于静止时呈现的摩擦力,最大值发生在开始运动的瞬间,一旦运动开始,静摩擦力即消失,如图 1-2 所示。

实际的摩擦特性比较复杂,可近似表示为图 1-3 所示,也可视为图 1-1 和图 1-2 所示摩擦力的合成。

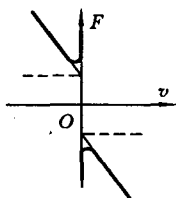


图 1-3 实际的摩擦特性

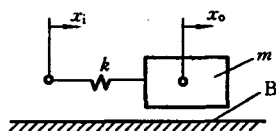


图 1-4 质量-弹簧-阻尼系统

1. 摩擦引起低速爬行及减少爬行的措施

一个进给系统,当工作台作低速进给运动时,在一定的条件下可能产生爬行。这是机械系统在行进中的自激振荡现象。为了便于分析,可以将整个传动链归算成为一个质量-弹簧-阻尼系统,如图 1-4 所示。

图中: x_i 为归算输入位移; x_o 为归算输出位移; k 为归算弹簧刚度系数; B 为归算速度阻尼系数; m 为归算质量。

设起始时刻质量 m 静止,弹簧处于自由状态,给 x_i 以低恒速输入,即 $x_i = vt$,弹簧不断被压缩,至克服静摩擦力时,系统开始运行,一旦运动开始,摩擦系数降低,维持继续运动所需要的驱动力迅速减小,负载由于惯性和迅速释放能量所导致的弹簧效应而向前滑行,当驱动动力小于动摩擦力时又将停止,这样,在低速时,由于静摩擦力和动摩擦力的交替作用而可能出现爬行现象,即系统在低速运行时,出现时启时停、时快时慢的不平稳运动。在高速运行时,这种现象并不突出,或者不出现,因为此时输入信号增长较快,能发生“停滞”的时间很短,同时输出轴的能量较大,这种不平稳性被驱动系统的惯性所消除。

在数控机床上产生低速爬行主要是因机床导轨与工作台之间的摩擦力而引起的,因此,减少低速爬行的措施是减少机床导轨静、动摩擦系数的差,减少滑动面的摩擦阻力,提高传动件的刚度。目前采用得较多的方法是在滑动面上贴塑料导轨软带,其结构如图 1-5 所示。贴塑后改变了数控机床导轨的摩擦特性,使导轨的静、动摩擦系数相差很小,如图 1-6 所示。当机床速度较高时则可采用滚动导轨。

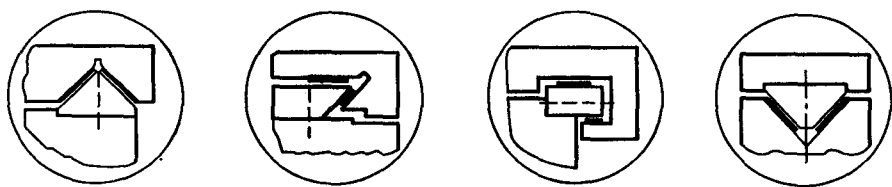


图 1-5 工作台、滑座贴塑导轨

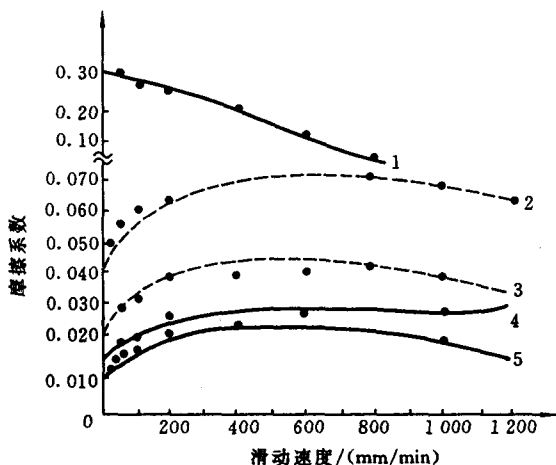


图 1-6 摩擦-速度曲线

1—铸铁-铸铁(30# 机油); 2—Turfite-B-铸铁(干摩擦); 3—Turfite-B-铸铁(30# 机油);
4—TSF-铸铁(干摩擦); 5—TSF-铸铁(30# 机油)

2. 摩擦引起系统的失动

数控机床的伺服驱动装置应用数字逻辑电路和离散的输入信号控制系统运行。数控机床运行时很重要的一项精度指标即定位精度,它指伺服系统按照允许的输入位移指令进行定位时可能产生的最大偏差,主要表示伺服系统准确执行定位指令的能力。

失动则表示指令位置没有达到的情况。在评价系统的失动时,通常把它折合成直线运动,按双向趋近,如图 1-7 所示,即把从右边和左边向同一点定位时平均值之差定义为失动量。失动可以是由于伺服驱动系统滚珠丝杠与螺母的间隙、传动链的扭转(角度变形,即扭曲)或负载构件的挠曲(轴向压缩变形)等因素所引起,实际上总的失动量是这些因素的综合。而摩擦则以间接的方式助长系统的失动,即由于静摩擦力的存在,必须用更大的力来克服它才能使系统运动,因而使驱动元件的扭转变形也增大。

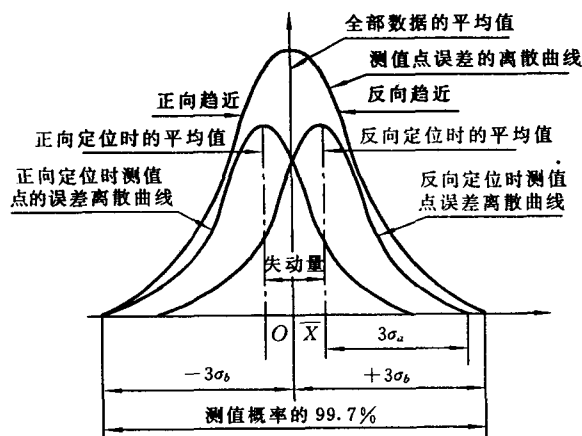


图 1-7 双向趋近时的失动

1.3.2 间隙

在齿轮副、滚珠丝杠副或其他类似的传动链中,两啮合面之间总要留出一个小的活动量,这就是“间隙”。间隙的存在对于工作在可逆运转的传动装置中就成了回差,其输出、输入关系具有滞环特性,如图 1-8 所示,是非单值的非线性关系。

为了说明输出和输入构件的运动关系,图 1-9 表示了间隙的物理模型。

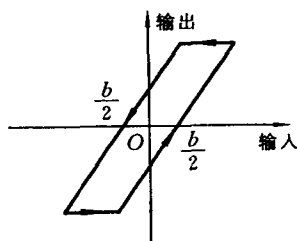


图 1-8 间隙的特性

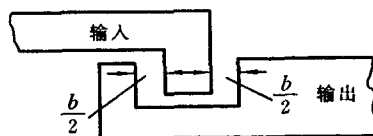


图 1-9 间隙的物理模型

运动副的传动间隙是导致反向误差的主要因素之一。如果数控系统不能补偿此项误差,就会直接影响加工精度。更大的影响是:由于间隙是非线性系统,所以容易使系统不稳定,产生自激振荡。特别在全闭环系统中,自激振荡将导致系统不能稳定、可靠地运行。

为了消除数控机床进给系统中传动的正反向间隙,已经有许多行之有效的机械结构,在数控系统的软件方面亦有许多补偿方法,读者若有兴趣,可参考文献[1]。