

计算机辅助设计与制造系列教材

数控编程技术

王道宏 主编
何庆稀 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

计算机辅助设计与制造系列教材

数控编程技术

王道宏 主 编

何庆稀 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程技术/王道宏主编. —北京: 人民邮电出版社, 2005.2

ISBN 7-115-13095-7

I. 数... II. ①王...②何... III. 数控机床—程序设计 IV.TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 007148 号

内 容 提 要

本书主要内容包括数控机床基本知识, 数控程序编制中的工艺分析, 数控程序编制中的数学处理, FANUC 系统数控车床、数控铣床及加工中心程序的编制, SIEMENS 系统数控车床、铣床及加工中心编程, 数控电火花线切割编程等。重点介绍了数控车削、数控铣削、加工中心加工等数控加工工艺、程序编制及编程实例。

本书从高职学生具体特点及未来就业角度等方面去考虑, 以培养和提高学生数控编程能力为目标, 具有很强的针对性、实践性和职业教育特点。针对目前我国数控机床以 FANUC、SIEMENS 系统为主体的特点, 本书不仅着重以 FANUC 数控系统为例介绍数控编程技术, 而且还介绍 SIEMENS 数控系统及编程技术。

本书适合各级各类高职高专院校的机电类专业使用, 也可作为中专、技校数控和机械类专业教材, 还可供有关教师与工程技术人员参考。

计算机辅助设计与制造系列教材 数控编程技术

-
- ◆ 主 编 王道宏
副 主 编 何庆稀
责任编辑 潘春燕
执行编辑 韩学义
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线: 010-67129259
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16
字数: 381 千字
印数: 1—5 000 册
 - 2005 年 2 月第 1 版
2005 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13095-7/TP·4425

定价: 21.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

计算机辅助设计与制造系列教材

丛书编委会

主 任 童水光

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁学恭 王道宏 孙卫和 孙慧平

向 伟 刘庆国 何庆稀 张宝忠

周文超 胡如夫 潘春燕

执行编委 薄继康

编者的话

当前,中国经济正加快向新兴工业化道路发展,制造业已成为国民经济的支柱产业。先进数控技术的广泛使用,导致数控应用型人才严重短缺。“高薪难聘高素质的数控技工”成为全行业普遍关注的问题。在欧美等发达国家中,数控机床已经被普遍使用。我国的制造业与国际先进工业国家相比存在着很大的差距,原因是多方面的,数控人才的匮乏是最主要的原因之一。由于数控技术是最典型的、应用最广泛的机电一体化综合技术,我国迫切需要大量数控编程、数控机床操作、数控机床维护等人才。

本书以培养和提高学生数控编程能力为目标,从高职学生具体特点及未来就业角度出发,有很强的针对性、实践性和职业教育特点,同时具有知识的先进性、案例的实用性等特点。针对目前我国数控机床以 FANUC、SIEMENS 系统为主体的特点,本书不仅着重以 FANUC 数控系统为例介绍数控编程技术,而且还介绍了 SIEMENS 数控系统及编程技术。

本书由嘉兴职业技术学院王道宏任主编,温州职业技术学院何庆稀任副主编,第 2, 3, 5 章由王道宏编写,第 1, 4, 6, 7 章由何庆稀编写。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2004 年 9 月

丛书前言

改革开放的 20 多年来,我国应用型高等教育、高等职业教育得到了长足的发展。1999 年教育部组织制定了《高职高专教育专业人才培养目标和规格》,我国的高等职业教育进入了高速发展阶段。2000 年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19 号),提出了“力争用五年的努力,编写、出版 500 本左右高职高专教育规划教材”的目标。近年来,现代设计方法的使用;制造业的飞速发展;数控技术的应用,对计算机辅助设计与制造技术提出了更高、更新的要求,迫切需要此类教材。我国要成为全球制造业基地,离不开计算机辅助设计与制造技术的支持。目前,高技能人才的紧缺遏制了我国制造业的深层次发展。随着我国产业结构的调整变化以及主体产业的设备水平、工艺水平的发展,加强对高技能人才队伍的培养建设,已迫在眉睫。高职担负着培养高技能人才的根本任务,认真总结近几年高职教育的教学改革成功经验,充分贯彻教育部对高职高专“必需、够用”的理论要求,提高高职高专学生的技能水平,编写一套适合当前改革、紧跟技术发展、适合于掌握与提高技能的计算机辅助设计与制造系列教材,是当务之急。因此,人民邮电出版社组织了一批高职院校,在总结教学改革的基础上,为适应当前技能型人才培养的需要,共同讨论编写了这套计算机辅助设计与制造系列教材。

本套教材的编写原则是:全套教材突出技能培养的特色,不强求理论和功能的完整性。全套教材以提高应用技能为主体,内容紧密结合现代设计与制造的需求,并力求做到文字精练、语言通俗易懂,举例实用。从实际操作入手,讲解详细,深入浅出,操作步骤简单明了,使操作者根据书中的讲解很快能上机操作,掌握操作技能。全书结合实例编写,同时配有一定的操作实训题,方便于读者操作练习。

本套教材的编写老师都是在高职院校教学一线从事多年教学的、经验丰富的教师,他们对应用型、技能型人才培养有着独到的见解,对学生就业后的岗位有深入了解,在本套教材编写中,我们反复研讨,得到了许多学校领导和教师的大力支持,许多章节是在优秀教案、讲义的基础上推敲而成的。在此基础上,我们组织专家审阅,确保质量。今后,我们还根据具体的使用情况,不断听取读者的意见,不断修订、补充和完善,以满足不断更新的计算机辅助设计与制造技术的需要。

本套教材除适合于高职高专机械类(机械设计与制造、机械制造与自动化、数控技术、模具设计与制造、机电一体化、工业设计、计算机辅助设计与制造等),近机类各专业使用外,也可供其他应用型高等院校使用以及各种技能的短期培训班使用,对于迫切需要掌握该应用技能的读者,本套教材也可以作为其自学读物。

目 录

第1章 数控机床基本知识	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数控机床的发展简况	2
1.1.3 我国数控机床发展概况	3
1.1.4 数控机床的发展趋势	3
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 数控机床的关键结构部件	5
1.2.3 数控机床的工作原理	12
1.3 数控机床的分类	19
1.3.1 按控制系统的特点分类	19
1.3.2 按进给伺服系统的类型分类	20
1.3.3 按工艺用途分类	22
1.3.4 按所用数控装置的构成方式分类	22
习题	23
第2章 数控编程基础	25
2.1 数控编程概述	25
2.1.1 程序编制的内容和步骤	25
2.1.2 程序编制的方法	26
2.2 数控程序编制中的工艺分析	26
2.2.1 数控加工工艺基本特点	26
2.2.2 数控加工工艺分析主要内容	27
2.2.3 数控加工工艺分析的一般步骤与方法	27
2.2.4 数控加工工艺文件	39
2.3 数控程序编制中的数学处理	43
2.3.1 数学处理的概念	43
2.3.2 常见的数学处理方法	44
习题	52

第3章 数控车床编程	53
3.1 数控车床编程基础	53
3.1.1 数控车床概述	53
3.1.2 数控车床坐标系统	56
3.2 FANUC 系统数控车床程序的编制	57
3.2.1 程序结构	57
3.2.2 准备功能指令	59
3.2.3 主轴及辅助功能指令	66
3.2.4 进给功能指令	67
3.2.5 刀具功能指令	69
3.2.6 固定循环切削功能指令	72
3.2.7 数控车床编程实例	75
习题	81
第4章 数控铣床及加工中心编程	83
4.1 数控铣床及加工中心编程基础	83
4.1.1 数控铣床及加工中心概述	83
4.1.2 数控铣床及加工中心坐标系统	87
4.2 FANUC 系统加工中心编程原理	90
4.2.1 程序结构	90
4.2.2 准备功能指令——G 代码	92
4.2.3 主轴及辅助功能指令	100
4.2.4 进给功能指令	103
4.2.5 刀具功能指令	103
4.2.6 固定循环切削功能指令	103
4.2.7 子程序	107
4.3 加工中心程序编制实例	108
4.4 宏程序编制	112
习题	120
第5章 SIEMENS 数控系统	123
5.1 SIEMENS 数控系统数控编程原理	123
5.1.1 数控程序的基本结构	123
5.1.2 指令表	124
5.1.3 系统指令	124
5.2 数控车床编程实例	181
5.3 数控铣床及加工中心编程实例	185
习题	189

第6章 数控电火花线切割编程	193
6.1 概述.....	193
6.1.1 电火花加工原理.....	193
6.1.2 电火花加工分类及工艺特点.....	193
6.2 数控电火花线切割手工程序编制.....	194
6.2.1 3B 格式线切割加工程序.....	195
6.2.2 ISO 代码线切割程序.....	201
6.2.3 线切割加工工艺分析.....	203
6.3 线切割加工自动编程.....	207
6.3.1 3B 格式线切割加工程序自动编制.....	207
6.3.2 G 代码格式线切割加工程序自动编制.....	210
6.3.3 代码传输.....	213
习题.....	214
第7章 自动编程系统概述及 MasterCAM 8.0 应用	215
7.1 国内外流行的个人计算机 CAD/CAM 软件.....	215
7.2 MasterCAM 系统简介.....	216
7.2.1 系统 CAD/CAM 功能模组.....	216
7.2.2 系统配置要求.....	220
7.2.3 MasterCAM 环境介绍.....	220
7.3 MasterCAM 的 CAD 功能.....	225
7.3.1 MasterCAM 二维图形建构功能.....	225
7.3.2 MasterCAM 二维图形建构实例.....	227
7.4 MasterCAM 的 CAM 功能.....	230
7.4.1 刀具路径.....	230
7.4.2 MasterCAM 的共同参数.....	230
7.5 MasterCAM 综合应用实例.....	233
7.6 图文件转换及 SIEMENS 程序后处理程式设置.....	239
7.6.1 图文件转换.....	239
7.6.2 图文件转换实例.....	241
7.6.3 SIEMENS 程序后处理程式设置.....	242
习题.....	243
参考文献.....	245

第1章

数控机床基本知识

1.1 数控机床的产生与发展

随着社会生产和科学技术的不断进步, 各类工业新产品层出不穷。机械制造产业作为国民工业的基础, 其产品更是日趋精密复杂, 特别是在宇航、航海、军事等领域所需的机械零件, 精度要求更高, 形状更为复杂且往往批量较小, 加工这类产品需要经常改装或调整设备, 普通机床或专业化程度高的自动化机床显然无法适应这些要求。同时, 随着市场竞争的日益加剧, 企业生产也迫切需要进一步提高其生产效率, 提高产品质量及降低生产成本。在这种背景下, 一种新型的生产设备——数控机床就应运而生了, 它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量及新型机械结构等多方面的技术成果, 形成了今后机械工业的基础及机械制造工业设备的发展方向。

1.1.1 数控机床的产生

数控机床的研制最早是从美国开始的。1948年, 美国帕森斯公司 (Parsons Co.) 在完成研制加工直升机浆叶轮廓用检查样板的加工机床任务时, 提出了研制数控机床的初步设想。1949年, 在美国空军后勤部的支持下, 帕森斯公司正式接受委托, 与麻省理工学院伺服机构实验室 (Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology) 合作, 开始数控机床的研制工作。经过3年的研究, 于1952年试制成功世界上第一台数控机床试验性样机。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制系统铣床。其数控系统全部采用电子管元件, 数控装置体积比机床本体还要大。后又经过3年的改进和自动编程研究, 于1955年进入实用阶段。此后, 其他一些国家 (如德国、英国、日本、前苏联和瑞典等) 也相继开展了数控机床的研制开发和生产。1959年, 美国克耐·杜列克公司 (Keaney & Trecker) 首次成功开发了加工中心 (Machining Center), 这是一种有自动换刀装置和回转工作台的数控机床, 可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工。但是, 直到20世纪50年代末, 由于价格和其他因素的影响, 数控机床仅局限于航空、军事工业应用, 品种也多为连续控制系统。直到20世纪60年代, 由于晶体管的应用, 数控系统进一步提高了可靠性且价格下降, 一些民用工业开始发展数控机床, 其中多数为钻床、冲床等点位控制的机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用, 而且逐步推广到焊接机、火焰切割机等, 使数控技术应用范围不断地得到扩展。

1.1.2 数控机床的发展简况

自 1952 年美国研制成功第一台数控机床以来,随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量等相关技术的发展,数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代,先后大致经历了 5 个发展阶段。

第 1 代数控机床:1952 年~1959 年采用电子管元件构成的专用数控装置(Numerical Control, NC)。

第 2 代数控机床:从 1959 年开始采用晶体管电路的 NC 系统。

第 3 代数控机床:从 1965 年开始采用小、中规模集成电路的 NC 系统。

第 4 代数控机床:从 1970 年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制的系统(Computer Numerical Control, CNC)。

第 5 代数控机床:从 1974 年开始采用微型计算机控制的系统(Microcomputer Numerical Control, MNC)。

近年来,微电子和计算机技术日益成熟,其成果正在不断渗透到机械制造的各个领域,先后出现了计算机直接数控(DNC)系统、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)。所有这些高级的自动化生产系统均以数控机床为基础,它们代表着数控机床今后的发展趋势。

1. 计算机直接数控系统

所谓计算机直接数控(Direct Numerical Control, DNC)系统,即使用一台计算机为数台数控机床进行自动编程,编程结果直接通过数据线输送到各台数控机床的控制箱。中央计算机具有足够的内存容量,因此,可统一存储和管理大量的零件程序。利用分时操作系统,中央计算机可以同时完成一群数控机床的管理与控制,因此,也称它为计算机群控系统。

目前 DNC 系统中的各台数控机床都各自有其独立的数控系统,并与中央计算机连成网络,实现分级控制,而不再考虑让一台计算机去分时完成所有数控装置的功能。

随着 DNC 技术的发展,中央计算机不仅用于编制零件的程序以控制数控机床的加工过程,而且进一步控制工件与刀具的输送,形成了一条由计算机控制的数控机床自动生产线,它为柔性制造系统的发展提供了有利条件。

2. 柔性制造系统

柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)也叫做计算机群控自动线,它是将一群数控机床用自动传送系统连接起来,并置于一台计算机的统一控制之下,形成一个用于制造的整体。其特点是由一台主计算机对全系统的硬、软件进行管理,采用 DNC 方式控制两台或两台以上的数控加工中心机床,对各台机床之间的工件具有调度和自动传送功能。利用交换工作台或工业机器人等装置实现零件的自动上料和下料,使机床每天 24 小时均能在无人或极少人的监督控制下进行生产。如日本 FANUC 公司有一条 FMS 由 60 台数控机床、52 个工业机器人、两台无人自动搬运车、一个自动化仓库组成,这个系统每月能加工 10 000 台伺服电机。

3. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统(Computer-Integrated Manufacturing System, CIMS),是指用最先进的计算机技术,控制从定货、设计、工艺、制造到销售的全过程,以实现信息系统一体化的高效率的柔性集成制造系统。它是在生产过程自动化(例如计算机辅助设计、计算机辅助工艺规程设计、计算机辅助制造、柔性制造系统等)的基础上,加上其他管理信息系统的发

展, 逐步完善的、有各种类型计算机及其软件系统的分析、控制能力, 可把全厂的生产活动联系起来, 最终实现全厂性的综合自动化。

1.1.3 我国数控机床发展概况

我国从 1958 年开始由北京机床研究所和清华大学等单位首先研制数控机床, 并试制成功第一台电子管数控机床。从 1965 年开始研制晶体管数控系统, 直到 20 世纪 60 年代末至 70 年代初, 研制的劈锥数控铣床、非圆插齿机等获得成功。与此同时, 还开展了数控铣床加工平面零件自动编程的研究。1972 年~1979 年是数控机床的生产和试用阶段, 例如清华大学成功研制了集成电路数控系统; 数控技术在车、铣、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域开始研究和应用; 数控加工中心机床研制成功; 数控升降台铣床和数控齿轮加工机床开始小批生产供应市场。从 20 世纪 80 年代开始, 随着我国改革开放政策的实施, 先后从日本、美国、德国等国家引进先进的数控技术。如北京机床研究所从日本 FANUC 公司引进 FANUC3、FANUC5、FANUC6、FANUC7 系列产品的制造技术; 上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统等。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上, 北京机床研究所又开发出 BSO3 经济型数控系统和 BSO4 全功能数控系统, 航空航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统等。到“八五”末期, 我国数控机床的品种已有 200 多个, 产量已经达到年产 10 000 台的水平, 这个产量是 1980 年的 500 倍。我国数控机床在品种、性能以及控制水平上都有了新的飞跃, 数控技术已经进入了一个继往开来的发展阶段。

1.1.4 数控机床的发展趋势

从数控机床技术水平看, 高精度、高速度、高柔性、多功能和高自动化是数控机床的重要发展趋势。对单台主机不仅要求提高其柔性和自动化程度, 还要求具有进入更高层次的柔性制造系统和计算机集成制造系统的适应能力。我国国产数控设备的主轴转速已达 $10000\text{r/min} \sim 40000\text{r/min}$, 进给速度达到 $30\text{m/min} \sim 60\text{m/min}$, 换刀时间 $t < 2.0\text{s}$, 表面粗糙度 $Ra < 0.008\mu\text{m}$ 。

在数控系统方面, 目前世界上几个著名的数控装置生产厂家, 诸如日本的 FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司和美国的 A-B 公司, 产品都向系列化、模块化、高性能和成套性方向发展。它们的数控系统都采用了 16 位和 32 位微处理器, 标准总线及软件模块和硬件模块结构, 内存容量扩大到 1MB 以上, 机床分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$, 高速进给可达 100m/min , 控制轴数可达 16 个, 并采用先进的电装工艺。

在驱动系统方面, 交流驱动系统发展迅速。交流传动已由模拟式向数字式方向发展, 以运算放大器等模拟器件为主的控制器正在被以微处理器为主的数字集成元件所取代, 从而克服了零点漂移、温度漂移等弱点。

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

数控机床的种类很多, 在各行业、各领域的生产过程中几乎或多或少都有数控机床的应用。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

等若干基本部分组成,如图 1-1 所示。

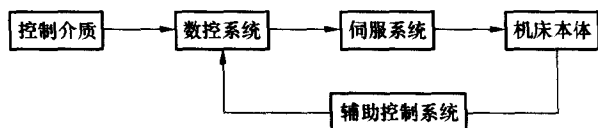


图 1-1 数控机床的组成

1. 控制介质

数控机床工作时,不需要操作工人直接操纵机床,但机床又必须执行人的意图,这就需要在人与机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物即称为控制介质。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。因此,控制介质就是将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。控制介质有多种形式,它随着数控装置类型的不同而不同,常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘和 USB 接口介质等。控制介质上记载的加工信息要经过输入装置传送给数控装置,常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机、磁盘驱动器和 USB 接口等。

除了上述几种控制介质外,还有一部分数控机床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接将程序及数据输入。另外,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程,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

数控装置是一种控制系统,是数控机床的中心环节。它能自动阅读输入载体上事先给定的数字,并将其译码,从而使机床进给并加工零件,数控系统通常由输入装置、控制器、运算器和输出装置 4 大部分组成,如图 1-2 所示。

输入装置接受由穿孔带阅读机输出的代码,经过识别与译码之后分别输入到各相应的寄存器,这些指令与数据将作为控制与运算的原始依据,控制器接受输入装置的指令,根据指令控制运算器与输出装置,以实现机床的各种操作(如控制工作台沿某一坐标轴的运动、主轴变速和冷却液的开关等)以及控制整机的工作循环(如控制阅读机的启动或停止、控制运算器的运算和控制输出信号等)。

运算器接受控制器的指令,将输入装置送来的数据进行某种运算,并不断向输出装置送出运算结果,使伺服系统执行所要求的运动。对于加工复杂零件的轮廓控制系统,运算器的重要功能是进行插补运算。所谓插补就是将每程序段输入的工件轮廓上的某起始点和终点的坐标数据送入运算器,经过运算之后在起点和终点之间进行“数据密化”,并按控制器的指令向输出装置送出计算结果。

输出装置根据控制器的指令将运算器送来的计算结果输送到伺服系统,经过功率放大驱动相应的坐标轴,使机床完成刀具相对工件的运动。

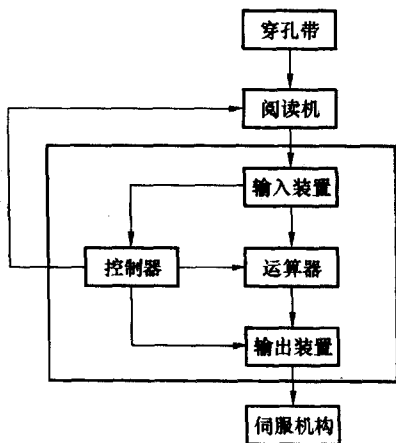


图 1-2 数控装置结构

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元(CPU)又称为微处理器,是一种大规模集成电路,它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中,输入与输出电路采用大规模集成电路,即所谓的I/O接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器,并采用高密度的存储介质,如半导体存储器和磁盘存储器等。存储器可分为只读存储器(ROM)和随机存取存储器(RAM)两种类型,前者用于存放系统的控制程序,后者存放系统运行时的工作参数或用户的零件加工程序。微型计算机数控装置的工作原理与上述硬件数控装置的工作原理基本相同,只是前者采用通用的硬件,不同的功能通过改变软件来实现,因此更为灵活与经济。

3. 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求带动机床的移动部件运动或使执行部分动作,以加工出符合要求的工件。指令信息是以脉冲信息体现的,每一个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量。机械加工一般常用的脉冲当量为0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲、0.001mm/脉冲,目前所使用的数控系统脉冲当量通常为0.001mm/脉冲。

伺服系统是数控机床的关键部件,它直接影响数控加工的速度、位置、精度等。伺服机构中常用的驱动装置,随控制系统的不同而不同。开环系统的伺服机构常用步进电机和电液脉冲马达;闭环系统常用的有宽调速直流电机和电液伺服驱动装置等。

4. 辅助控制系统

辅助控制系统是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的强电控制装置。它接受数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成各种规定的动作。此外,有些开关信号经过辅助控制系统传输给数控装置进行处理。

5. 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由机床的基础大件(如床身、底座)和各运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)所组成。它是完成各种切削加工的机械部分,是在原普通机床的基础上改进而成。其具有以下特点:

(1) 数控机床采用了高性能的主轴与伺服传动系统、机械传动装置;

(2) 数控机床机械结构具有较高的刚度、阻尼精度和耐磨性;

(3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨。

与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局,传动系统与刀具系统的部件结构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,因此,必须建立数控机床设计的新概念。

1.2.2 数控机床的关键结构部件

1. 伺服系统驱动电机

伺服系统是指以机械位置或角度作为控制对象的自动控制系统。他接收计算机插补生成的进给指令脉冲,经放大和转换后发送给伺服系统驱动电机,从而驱动执行元件实现预期的运动。根据数控机床的类型及不同的规格档次,伺服系统驱动电机通常采用步进电动机,直流伺服电动机和交流伺服电动机等几种。

(1) 步进电动机

步进电动机通常用于开环伺服系统机床。步进电动机工作原理如图 1-3 所示。定子上有 6 个磁极, 分成 U 、 V 、 W 3 相, 每个磁极上绕有励磁绕组, 按串联或并联方式联接, 使电流产生的磁场方向一致。转子无绕组, 它是由带齿的铁心做成的, 当定子绕组按顺序轮流通电时, U 、 V 、 W 3 对磁极就依次产生磁场, 并每次对转子的某一对齿产生电磁转矩, 吸引过来使它一步步转动。每当转子某一对齿的中心线与定子的磁极中心线对齐时, 磁阻最小, 转矩为零, 每次就在此时按一定方向切换定子绕组各相电流, 使转子按一定方向一步步转动。

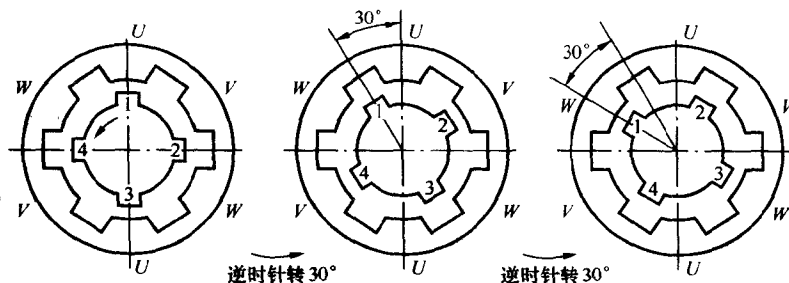


图 1-3 步进电动机工作原理

步进电动机的转动是由绕组的脉冲电流控制的, 即由指令脉冲决定。指令脉冲数决定它的转动步数, 即角位移的大小; 指令脉冲频率决定它的转动速度。只要改变指令脉冲频率, 就可以使步进电动机的旋转速度在很宽的范围内连续调节。改变绕组的通电顺序, 就可以改变它的旋转方向。

(2) 直流伺服电动机

在数控机床中, 速度控制一方面用于主轴运动的控制, 另一方面, 也是更加重要的, 它作为进给运动位置伺服系统的速度控制单元, 对保证数控机床加工精度起着重要的作用。直流伺服电动机速度控制方法很多, 应用十分广泛。常用的直流伺服电动机主要有如下几种。

① 小惯量直流电动机——这类电动机又分为无槽圆柱体电枢结构和带印刷绕组的盘形电枢结构两种。因为小惯量直流电动机最大限度地减少了电枢转动惯量, 所以能获得最好的快速性, 其主要特点是: 转动惯量仅为普通直流电动机的 $1/10$ 左右, 且转子无槽, 电气机械性能良好, 使其在低速时运转稳定而均匀, 如在转速达 10r/min 时, 仍无爬行现象。此外该电动机电枢反应小, 调速范围广而平滑, 具有良好的换向性能。因此小惯量直流电动机在早期的数控机床中得到广泛的应用。

② 宽调速直流电动机——由于小惯量直流电动机是以减小电动机转动惯量来改善其工作特性的, 而在实际生产中机床的惯量通常较大, 所以使用效果并不十分理想。而宽调速直流电动机是用提高转矩的方法来改善调速性能, 故在闭环伺服系统中应用更广泛。其主要特点是: 输出转矩高、过载能力强、动态响应好、调速范围宽。

由于宽调速电动机机械特性和调节特性的线性度好, 低速能输出较大的力矩, 所以调速范围宽且运转平稳。由于该电动机的转子惯量接近于普通电动机, 外界负载惯量对伺服系统的影响不大, 可在不加负载的情况下进行调试, 在联机时不必做大的调整。此外, 该电动机温升低、尺寸小, 在数控机床伺服系统中应用更加广泛。

③ 无刷直流电动机——又叫无整流子电动机。该电动机没有换向器，是由同步电动机和逆变器组成的，而逆变器是由装在转子上的转子位置传感器控制的。因此它实质上是交流调速电动机的一种。由于这种电动机的性能达到直流电动机的水平，又取消了换向器和电刷部件，使电动机寿命提高了一个数量级，因此引起了人们很大的兴趣。

(3) 交流伺服电动机

交流电动机调速系统近年来得到了广泛的应用，这一方面是因为交流电动机具有结构简单，动态响应好，输出功率大，价格便宜等优点。另一方面，近年来新型功率开关器件、专用集成电路和新的控制算法等的发展带动了交流驱动电源的发展，使其调速性能更能适应数控机床伺服系统的要求。因此，交流速度控制系统正逐步取代直流速度控制系统。

交流伺服系统中的常用的执行元件有交流感应电动机和交流同步电动机。交流感应电动机结构简单，它与同容量的直流电动机相比，质量少 $1/2$ ，价格仅为直流电动机的 $1/3$ ，一般用在主轴驱动系统中。

交流同步电动机的转速与所接电源的频率之间存在着一种严格的关系，即在电源电压和频率固定不变时，它的转速是稳定不变的。若采用变频电源给同步电动机供电，可方便地获得与频率成正比的可变速度，同时，可以得到非常硬的机械特性和宽的调速范围。永磁式同步电动机多用于数控机床进给驱动系统中。

永磁交流同步电动机由于采用电子逆变器取代了直流电动机的换向器和电刷的机械换向，其寿命主要由轴承决定，因此，无须进行电刷及换向器的维护保养工作，其可靠性大大提高。由于转子采用永磁材料，主要损耗在定子绕组及铁心上，便于散热且不对负载产生不良影响。另外，转子的结构允许电动机高速工作，提高了伺服系统的快速性。随着新型永磁材料的应用及永磁电动机结构的不断改进，永磁交流同步电动机将会越来越多地应用于数控系统中。

2. 位置检测装置

检测装置是把位移和速度测量信号作为反馈信号，并将反馈信号转换成数字送回计算机，和脉冲指令信号相比较，以控制驱动元件正确运转。在闭环伺服系统中检测装置是必不可少的。检测装置的精度直接影响数控机床的定位精度和加工精度。

位移检测系统所能测量的最小位移量称做分辨力。分辨力的高低不仅取决于检测元件本身，也取决于检测线路。在设计高精度或大中型数控机床时，必须认真选取检测元件。数控机床对检测元件的主要要求是：高的可靠性和抗干扰能力；满足机床加工精度和加工速度的要求；使用维护方便；成本低。数控机床常用的位置检测元件见表 1-1。

表 1-1 数控机床常用的位置检测元件

	增 量 式	绝 对 式
直 线 型	直线感应同步器 计量光栅 磁尺 激光干涉仪	三速感应同步器 绝对值式磁尺
旋 转 型	脉冲编码器 旋转变压器 圆感应同步器 圆光栅 圆磁栅	多速旋转变压器 绝对脉冲编码器 三速圆感应同步器

数控机床对直线位移进行检测的检测装置一般有直线型和旋转型两种。直线测量装置常用直线型检测元件直接测量工作台的直线位移,其测量精度主要取决于测量元件的精度,不受机床传动精度的影响。它的优点是直接反映工作台的直线位移量,缺点是测量装置要和行程等长,这对大型数控机床来说是一个很大的限制。间接测量是使用回转型测量装置通过和工作台直线运动相关联的回转运动,间接地测量工作台的直线位移。其测量精度取决于测量元件和机床传动链两者的精度。间接测量使用可靠方便,无长度限制,其缺点是测量信号加入了直线转变为回转运动的传动链误差,从而影响测量精度。

(1) 感应同步器

感应同步器是一种电磁式的高精度位移检测元件,按其结构方式的不同可分为直线式和旋转式两种,前者用于长度测量,后者用于角度测量。直线型感应同步器由作相对平行移动的定尺和滑尺组成,定尺和滑尺之间保持一定量的均匀间隙,约 0.25mm,定尺表面制有连续绕组,滑尺上有两组分段励磁绕组,定尺固定不动,滑尺可随运动部件移动,使用时,给滑尺绕组通以交流电压,由于电磁感应,在定尺绕组中产生感应电动势,其幅值和相位随滑尺和定尺之间相对位置的变化而变化,感应同步器就是利用这个感应电动势的变化进行测量的。

感应同步器的测量精度,主要取决于定尺绕组沿长度方向的尺寸精度,使用感应同步器构成的闭环伺服系统能够使数控机床获得较高的加工精度,但要得到理想的测量效果,对机械部件及安装调试要求很高。为了防止油污和铁屑侵入划伤定尺和滑尺的绕组,造成短路,致使感应同步器损坏,对尺子的保护罩要求很高。

感应同步器的特点是:精度高,工作可靠,抗干扰性强,维护简单,寿命长,可测量长距离位置,成本低,易于批量生产。

(2) 光栅

光栅就是在—块长条形的光学玻璃上均匀地刻划很多条与运动方向垂直的条纹,条纹之间的距离成为栅距。栅距可以根据所需的精度来决定,一般是每毫米刻 50、100、200 条线。长光栅称为标尺光栅,固定在机床的移动部件上;短光栅称为指示光栅,装在机床的固定部件上,两块光栅互相平行并保持一定的距离。

如果将指示光栅在自身的平面内转过一个很小的角度,两块光栅的条纹刻线就会相交,其交点组成一条条黑色条纹,称为莫尔条纹。因为两块光栅的刻线密度相等,即栅距 W 相等,而莫尔条纹的方向和刻线方向垂直,条纹宽度 $W = P \cos(\theta/2) / \sin \theta$, 当 θ 很小时,可近似表示为 $W = P / \theta$ 。若光栅的刻线为 100 条,即栅距为 $P = 0.01 \text{ mm}$,把莫尔条纹的宽度调为 10 mm,则其放大倍数为 $1/\theta = W/P = 1000$ 倍,这就是莫尔条纹的放大作用。此外,由于莫尔条纹由若干条线纹组成,例如对于栅距为 0.01 mm 的光栅,10 mm 长的一条莫尔条纹就由 1000 条线纹组成,这样栅距之间的固有相邻误差就被平均化了。莫尔条纹的移动与光栅之间的移动成正比关系,当光栅移动一个栅距时,莫尔条纹也相应地移动一条条纹。若光栅向反方向移动,则莫尔条纹也相应地向反方向移动。所以用莫尔条纹测量长度,决定其精度的要素不是一根线,而是一组线的平均效应,其精度比单纯光栅精度高,尤其是重复精度有显著的提高。

在实际应用时,大都把光源、指示光栅和光电元件组合在一起称为读数头。读数头的形式很多,但就其光路可分为分光读数头、反射读数头和垂直入射读数头等多种。

分光读数头原理如图 1-4 所示,光源 Q 发出光经透镜 L_1 变成平行光,照射到光栅 G_1 和