

现代数控技术系列

现代数控机床 伺服及检测技术

白恩远 王俊元 孙爱国 编著

主编 白恩远 副主编 王俊元



国防工业出版社

National Defence Industry Press

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

内 容 简 介

本书以数控机床伺服与检测系统为对象,在阐述伺服系统原理、半导体变流技术等基础上,重点介绍了步进式伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统、传感器及检测装置,最后介绍了位置伺服系统的典型实例。

本书在着重基本概念与原理阐述的同时,注意实际应用。本书可作为机械设计制造及自动化专业(数控技术及机械电子专业方向)本科生教材和参考书,也可供从事数控技术的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控机床伺服及检测技术/白恩远主编. —北京:
国防工业出版社, 2002. 1
(现代数控技术系列)
ISBN 7-118-02647-6

I. 现... II. 白... III. ① 数控机床—伺服系统
② 数控机床—检测—技术 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 064504 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 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 353 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《现代数控技术系列》编辑委员会

主 编 王爱玲

副主编 李志勤 白恩远

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 彪 王俊元 王爱玲 白恩远

任建平 孙爱国 吴 雁 吴淑琴

沈兴全 张吉堂 赵学良 赵建强

赵美虹 彭彬彬 蓝海根

序 言

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础,它的发展和运用,开创了制造业的新时代,使世界制造业的格局发生了巨大变化。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段,它的广泛使用给机械制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化,它的关联效益和辐射能力更是难以估计;数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等,都是建立在数控技术之上。数控技术是国际商业贸易的重要构成,发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品,世界贸易额逐年增加。

因此,数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,是当今制造业的发展方向。专家们曾预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本由于数控技术高度发展使其制造业迅速崛起,美国要挽回其失去的地位,欧洲要适应市场竞争的需求,从而以数控技术为主要标志的现代制造技术成了美国、日本和欧洲等工业国家竞争的焦点之一。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。中国政府正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。数控技术在制造业的扩展与延伸所产生的辐射作用和波及效果对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的生产分工、企业的运行机制等正带来深刻的变化,对国民经济的发展起着重要的促进作用。

现代机械加工业逐步向柔性化、集成化、智能化方向发展,需要将不断飞速发展的通用计算机技术及其体系结构、现代自动控制理论及现代的电力电子技术应用于新一代数控机床并突出其“开放式”及“智能化”的特征。

我国从发展数控技术的战略高度结合国民经济发展的特点对数控技术进行创新性研究,重点开发“开放式”、“智能化”的数控车床、数控加工中心及数控电加工机床系列产品。

本系列书籍作者选准了这个题材,1995 年就在本单位机械设计制造及其自动化专业开设了“机床数控技术”和“制造自动化技术”两个专业方向;在继续工程教育方面,作者所在单位作为“兵器工业现代数控技术培训中心”和“全国数控培训网太原分中心”的承办单位,自 1995 年以来,开办了 40 多期现代数控技术普及班、高级班和各种专项班,为 70 多个企事业单位培训了大量现代数控技术方面的工程技术人才。

在新产品研究开发方面,作者应用现代数控技术为企业开发出复杂曲面 CAD/CAM

一体化多种产品。

本系列书籍是在作者多年从事现代数控技术方面的教学、科研、基础理论研究和工作的基础上总结深化撰写成的。本系列书籍系统地分专题详细论述了现代数控技术的有关理论,内容充实,重点突出,同时尽可能地反映数控技术领域内的新成就和新的应用经验;在注重理论系统性的同时,强调如何应用理论分析解决实际问题,如数控编程实例及故障诊断实例等。在编写结构上,内容深入浅出,图文并茂,条理清楚,便于学用。

相信这套系列书籍能够有益于我国数控技术领域人才的培养,有益于我国数控技术的发展,有益于我国立足世界数控技术之林。



2001年9月13日于太原

前 言

“现代数控机床伺服及检测技术”,是“现代数控技术系列”之一。伺服系统的作用是联系数控装置与被控设备的中间环节,起着传递指令信息和反馈设备运行状态信息的桥梁作用。随着计算机技术、电子、电气技术、信息论、控制论、数字信号处理技术、传感与检测技术等数控技术的发展,伺服系统的伺服精度和速度等都有相应的提高。本书从伺服系统发展的角度出发,较系统地介绍了步进式伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统、传感器及检测装置等的原理及应用。

本书是在近几年教学实践及面向工厂培训数控技术开发与应用的工程技术人员的实践基础上编写而成的。所以在内容的编排上既有较系统的理论阐述,又有大量的应用实例。在选材上力求少而精,作为教材,旨在培养学生成为创造型、应用型工程技术人才;作为参考书,数控工程技术人员可迅速掌握伺服及检测技术的精髓,满足工程实际需要。

本书由华北工学院白恩远教授任主编,王俊元博士任副主编,并编写了第1章、第2章、第5章、第6章。第3章、第4章、第7章,由孙爱国编写。

全书由华北工学院王爱玲教授主审。

鉴于我们的水平和经验有限,书中难免有错误或不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2001.5

目 录

第1章 概述	1
1.1 伺服系统的组成	1
1.2 对伺服系统的基本要求	2
1.3 伺服系统的分类	4
1.3.1 按调节理论分类	4
1.3.2 按使用的驱动元件分类	5
1.3.3 按使用直流伺服电机和交流伺服电机分类	6
1.3.4 按进给驱动和主轴驱动分类	6
1.3.5 按反馈比较控制方式分类	6
第2章 伺服控制基础知识	10
2.1 运算放大器的应用	10
2.1.1 反相比例放大器	10
2.1.2 反相比例加法运算放大器	12
2.1.3 同相比例放大器	13
2.1.4 积分运算放大器	13
2.1.5 比例积分运算放大器	15
2.1.6 运算放大器作为比较器使用	15
2.2 电力半导体器件	17
2.2.1 晶闸管(SCR)	17
2.2.2 其他电力半导体器件介绍	20
第3章 步进电动机及其驱动控制系统	23
3.1 步进电动机的种类结构及其工作原理	23
3.1.1 反应式步进电动机	23
3.1.2 多段反应式步进电动机	27
3.1.3 混合式步进电动机	28
3.2 步进电动机的特性及选用	30
3.2.1 步进电动机的运行性能	30
3.2.2 步进电动机的选用	35
3.3 步进电动机的控制与驱动	37
3.3.1 步进电动机的控制方法	37
3.3.2 步进电动机驱动电源设计	39
3.3.3 步进电动机与微机的接口技术	44

3.4 步进电动机的控制及其程序设计	46
3.4.1 步进电动机控制信号的产生及标度变换	46
3.4.2 步进电动机的运行控制及程序设计	52
3.4.3 步进电动机的变速控制及程序设计	58
第4章 直流伺服电动机及其速度控制	73
4.1 直流(DC)伺服电动机概述	73
4.1.1 直流伺服电动机的基本结构	73
4.1.2 直流伺服电动机的分类	73
4.1.3 永磁直流伺服电动机	75
4.1.4 对直流伺服电动机的要求及选用	79
4.2 直流电力拖动控制系统的基本概念	80
4.2.1 他励直流电动机的机械特性	80
4.2.2 直流电动机的调速方法	81
4.2.3 直流伺服电动机的特性	83
4.2.4 电力拖动控制系统的主要技术指标	85
4.3 直流电动机晶闸管供电的速度控制系统	89
4.3.1 具有转差负反馈的单闭环晶闸管——电动机调速系统	89
4.3.2 PI调节器与无静差转差负反馈单闭环调速系统	92
4.3.3 晶闸管供电转速电流双闭环直流调速系统	94
4.4 晶体管直流脉宽(PWM)调速系统	100
4.4.1 脉宽调制基本原理	100
4.4.2 直流脉宽调速系统的控制电路	111
4.4.3 H型倍频单极式开关放大器工作分析	120
4.5 脉宽调速系统实例	127
4.5.1 脉宽调制双环可逆调速系统	127
4.5.2 双机双轴两相推挽斩波调速系统	129
第5章 交流伺服电动机及其速度控制	134
5.1 交流伺服电动机	134
5.1.1 交流伺服电动机的分类和特点	134
5.1.2 永磁交流伺服电动机	135
5.1.3 交流伺服电动机的发展动向	138
5.1.4 交流主轴电动机	139
5.2 交流电动机调速原理	141
5.2.1 交流调速的基本技术途径	141
5.2.2 异步电动机的等效电路及机械特性	142
5.2.3 交流变频调速系统基本分析	143
5.3 变频调速技术	146
5.3.1 变频器的分类与特点	146
5.3.2 晶闸管交—直—交变频器	149

5.3.3 脉宽调制型(PWM)变频器	158
5.3.4 正弦波脉宽调制(SPWM)变频器	159
5.4 交流电动机的矢量控制调速系统	163
5.4.1 概述	163
5.4.2 矢量变换的运算功能及原理电路	164
5.4.3 磁通的检测	168
5.5 矢量变换控制的 SPWM 调速系统	170
5.6 无整流子电机调速系统	172
5.7 交流伺服系统的发展动向	173
第 6 章 数控机床常用传感器及检测装置	175
6.1 检测装置的要求与分类	175
6.1.1 增量式和绝对式	175
6.1.2 数字式和模拟式	176
6.2 旋转变压器	176
6.2.1 结构和工作原理	176
6.2.2 旋转变压器的应用	177
6.3 感应同步器	178
6.3.1 基本原理	178
6.3.2 结构	179
6.3.3 感应同步器的检测系统	180
6.3.4 感应同步器特点	184
6.3.5 感应同步器安装使用的注意事项	185
6.4 绝对值脉冲编码器	185
6.4.1 基本原理	185
6.4.2 编码器的应用	186
6.5 光栅	188
6.5.1 光栅的种类与精度	188
6.5.2 工作原理	191
6.5.3 光栅检测装置	193
6.6 磁栅	196
6.6.1 磁性标尺	197
6.6.2 磁头	197
6.7 脉冲编码器	200
6.7.1 分类和结构	200
6.7.2 工作原理	202
6.7.3 主轴位置编码器	203
6.7.4 手摇脉冲发生器	203
第 7 章 位置伺服系统	205
7.1 进给伺服系统的概述	205

7.1.1 伺服系统常用的控制方式	205
7.1.2 数控机床运动方式对伺服系统的要求	208
7.1.3 检测信号反馈比较方式	209
7.2 进给伺服系统分析	209
7.2.1 进给伺服系统的数学模型	209
7.2.2 进给伺服系统的动、静态性能分析	211
7.2.3 前馈控制	213
7.2.4 位置指令信号分析	214
7.2.5 指令值的修正	215
7.3 脉冲比较的进给伺服系统	216
7.3.1 脉冲比较式进给位置伺服系统	216
7.3.2 脉冲比较进给系统组成原理	218
7.3.3 脉冲比较电路	218
7.4 相位比较的进给伺服系统	221
7.4.1 相位伺服进给系统组成原理	221
7.4.2 脉冲调相器	222
7.4.3 鉴相器	224
7.5 幅值比较的进给伺服系统	226
7.5.1 幅值伺服系统组成原理	226
7.5.2 鉴幅器	228
7.5.3 电压—频率变换器	229
7.5.4 脉冲调宽式正弦、余弦信号发生器	230
7.6 数据采样式进给伺服系统	233
7.6.1 数据采样式进给位置伺服系统	233
7.6.2 反馈补偿式步进电动机进给伺服系统	236

第 1 章 概 述

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。在数控机床中,伺服系统主要指各坐标轴进给驱动的位置控制系统。伺服系统接受来自 CNC 装置的进给脉冲,经变换和放大,再驱动各加工坐标轴按指令脉冲运动。这些轴有的带动工作台,有的带动刀架,通过几个坐标轴的综合联动,使刀具相对于工件产生各种复杂的机械运动,加工出所要求的复杂形状工件。

进给伺服系统是数控装置和机床机械传动部件间的联系环节,是数控机床的重要组成部分。它包含机械、电子、电机(早期产品还包含液压)等各种部件,并涉及到强电与弱电控制,是一个比较复杂的控制系统。要使它成为一个既能使各部件互相配合协调工作,又能满足相当高的技术性能指标的控制系统,的确是一个相当复杂的任务。在现有技术条件下,CNC 装置的性能已相当优异,并正在迅速向更高水平发展,而数控机床的最高运动速度、跟踪及定位精度、加工表面质量、生产率及工作可靠性等技术指标,往往又主要决定于伺服系统的动态和静态性能。数控机床的故障也主要出现在伺服系统上。可见提高伺服系统的技术性能和可靠性,对于数控机床具有重大意义,研究与开发高性能的伺服系统一直是现代数控机床的关键技术之一。

一般主轴驱动系统只要满足主轴调速及正反转功能即可,但当要求机床有螺纹加工功能、准停功能和恒线速加工等功能时,就对主轴提出了相应的位置控制要求。此时,主轴驱动系统也可称为主轴伺服系统,只不过控制较为简单。

位置控制系统通常分为开环和闭环控制两种。开环控制不需要位置检测与反馈;闭环控制需要有位置检测与反馈环节,它是基于反馈控制原理工作的。

1.1 伺服系统的组成

数控机床伺服系统的一般结构如图 1-1 所示。它是一个双闭环系统,内环是速度环,外环是位置环。速度环中用作速度反馈的检测装置为测速发电机、脉冲编码器等。速度控制单元是一个独立的单元部件,它由速度调节器、电流调节器及功率驱动放大器等各部分组成。位置环是由 CNC 装置中的位置控制模块、速度控制单元、位置检测及反馈控制等各部分组成。位置控制主要是对机床运动坐标轴进行控制,轴控制是要求最高的位置控制,不仅对单个轴的运动速度和位置精度的控制有严格要求,而且在多轴联动时,还要求各移动轴有很好的动态配合,才能保证加工效率、加工精度和表面粗糙度。

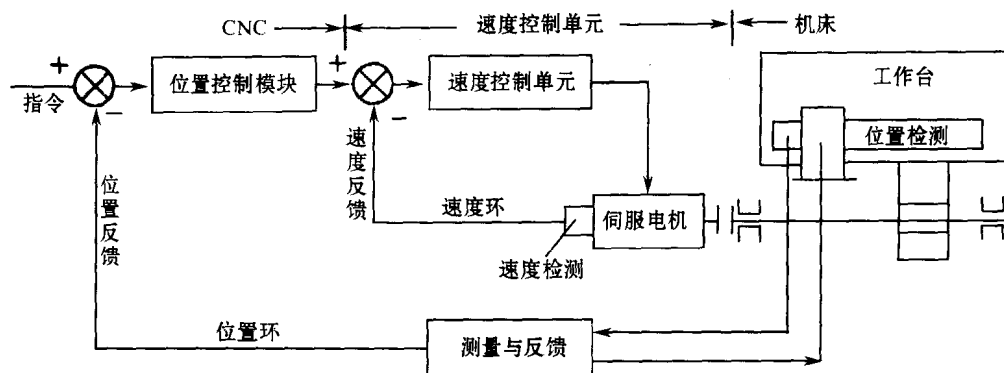


图 1-1 伺服系统结构图

1.2 对伺服系统的基本要求

数控机床集中了传统的自动机床、精密机床和万能机床三者的优点,将高效率、高精度和高柔性集中于一体。而数控机床技术水平的提高首先依赖于进给和主轴驱动特性的改善以及功能的扩大,为此数控机床对进给伺服系统的位置控制、速度控制、伺服电机、机械传动等方面都有很高的要求。本节主要叙述前三者。

由于各种数控机床所完成的加工任务不同,它们对进给伺服系统的要求也不尽相同,但通常可概括为以下几方面。

1. 可逆运行

可逆运行要求能灵活地正反向运行。在加工过程中,机床工作台处于随机状态,根据加工轨迹的要求,随时都可能实现正向或反向运动。同时要求在方向变化时,不应有反向间隙和运动的损失。从能量角度看,应该实现能量的可逆转换,即在加工运行时,电动机从电网吸收能量变为机械能;在制动时应把电动机的机械惯性能量变为电能回馈给电网,以实现快速制动。

2. 速度范围宽

为适应不同的加工条件,例如所加工零件的材料、类型、尺寸、部位以及刀具的种类和冷却方式等的不同,要求数控机床进给能在很宽的范围内无级变化。这就要求伺服电动机有很宽的调速范围和优异的调速特性。经过机械传动后,电机转速的变化范围即可转化为进给速度的变化范围。目前,最先进的水平是在进给脉冲当量为 $1\mu\text{m}$ 的情况下,进给速度在 $0\sim 240\text{m/min}$ 范围内连续可调。

对一般数控机床而言,进给速度范围在 $0\sim 24\text{m/min}$ 时,都可满足加工要求。通常在这样的速度范围还可以提出以下更细致的技术要求。

(1) 在 $1\text{mm/min}\sim 24000\text{mm/min}$ 即 $1:24000$ 调速范围内,要求速度均匀、稳定、无爬行,且速降小。

(2) 在 1mm/min 以下时具有一定的瞬时速度,但平均速度很低。

(3) 在零速时,即工作台停止运动时,要求电动机有电磁转矩以维持定位精度,使定位误差不超过系统的允许范围,即电机处于伺服锁定状态。

由于位置伺服系统是由速度控制单元和位置控制环节两大部分组成的,如果对速度控制系统也过分地追求像位置伺服控制系统那么大的调速范围而又要可靠稳定地工作,那么速度控制系统将会变得相当复杂,既提高了成本又降低了可靠性。

一般来说,对于进给速度范围为 1:20000 的位置控制系统,在总的开环位置增益为 20 1/s 时,只要保证速度控制单元具有 1:1000 的调速范围就可以满足需要,这样可使速度控制单元线路既简单又可靠。当然,代表当今世界先进水平的实验系统,速度控制单元调速范围已达 1:100000。

3. 具有足够的传动刚性和高的速度稳定性

这就要求伺服系统具有优良的静态与动态负载特性,即伺服系统在不同的负载情况下或切削条件发生变化时,应使进给速度保持恒定。刚性良好的系统,速度受负载力矩变化的影响很小。通常要求承受额定力矩变化时,静态速降应小于 5%,动态速降应小于 10%。

4. 快速响应并无超调

为了保证轮廓切削形状精度和低的加工表面粗糙度,对位置伺服系统除了要求有较高的定位精度外,还要求有良好的快速响应特性,即要求跟踪指令信号的响应要快。这就对伺服系统的动态性能提出两方面的要求:一方面在伺服系统处于频繁地启动、制动、加速、减速等动态过程中,为了提高生产率和保证加工质量,则要求加、减速度足够大,以缩短过渡过程时间。一般电机速度由 0 到最大,或从最大减少到 0,时间应控制在 200ms 以下,甚至少于几十毫秒,且速度变化时不应有超调;另一方面是当负载突变时,过渡过程前沿要陡,恢复时间要短,且无振荡。这样才能得到光滑的加工表面。

5. 高精度

为了满足数控加工精度的要求,关键是保证数控机床的定位精度和进给跟踪精度。这也是伺服系统静态特性与动态特性指标是否优良的具体表现。位置伺服系统的定位精度一般要求能达到 $1\mu\text{m}$ 甚至 $0.1\mu\text{m}$,高的可达到 $\pm 0.01 \sim \pm 0.005\mu\text{m}$ 。

相应地,对伺服系统的分辨率也提出了要求。当伺服系统接受 CNC 送来的一个脉冲时,工作台相应移动的单位距离叫分辨率。系统分辨率取决于系统稳定工作性能和所使用的位置检测元件。目前的闭环伺服系统都能达到 $1\mu\text{m}$ 的分辨率。数控测量装置的分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$ 。高精度数控机床也可达到 $0.1\mu\text{m}$ 的分辨率,甚至更小。

6. 低速大转矩

机床的加工特点,大多是低速时进行切削,即在低速时进给驱动要有大的转矩输出。

7. 伺服系统对伺服电机的要求

数控机床上使用的伺服电机,大多是专用的直流伺服电机,如改进型直流电机、小惯量直流电机、永磁式直流伺服电机、无刷直流电机等。自 20 世纪 80 年代中期以来,以交流异步电机和永磁同步电机为基础的交流进给驱动得到了迅速的发展,它是机床进给驱动发展的一个方向。

由于数控机床对伺服系统提出了如上的严格技术要求,伺服系统也对其自身的执行机构——电动机——提出了严格的要求。

(1) 从最低速到最高速电机都能平稳运转,转矩波动要小,尤其在低速如 0.1r/min 或更低速时,仍有平稳的速度而无爬行现象。

(2) 电机应具有大的较长时间的过载能力,以满足低速大转矩的要求。一般直流伺服电机要求在数分钟内过载 4~6 倍而不损坏。

(3) 为了满足快速响应的要求,电机应有较小的转动惯量和大的堵转转矩,并具有尽可能小的时间常数和启动电压。电机应具有耐受 4000rad/s^2 以上角加速度的能力,才能保证电机可在 0.2s 以内从静止启动到额定转速。

(4) 电机应能承受频繁启动、制动和反转。

1.3 伺服系统的分类

1.3.1 按调节理论分类

1. 开环伺服系统

开环伺服系统(见图 1-2)即无位置反馈的系统,其驱动元件主要是功率步进电机或电液脉冲马达。这两种驱动元件工作原理的实质是数字脉冲到角度位移的变换,它不用位置检测元件实现定位,而是靠驱动装置本身,转过的角度正比于指令脉冲的个数;运动速度由进给脉冲的频率决定。

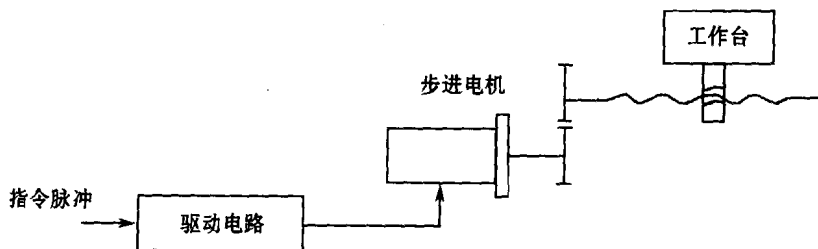


图 1-2 开环伺服系统

开环系统的结构简单,易于控制,但精度差,低速不平稳,高速扭矩小。一般用于轻载负载变化不大或经济型数控机床上。

2. 闭环伺服系统

闭环系统是误差控制随动系统(见图 1-3)。数控机床进给系统的误差,是 CNC 输出的位置指令和机床工作台(或刀架)实际位置的差值。闭环系统运动执行元件不能反映运动的位置,因此需要有位置检测装置。该装置测出实际位移量或者实际所处位置,并将测量值反馈给 CNC 装置,与指令进行比较,求得误差,依此构成闭环位置控制。

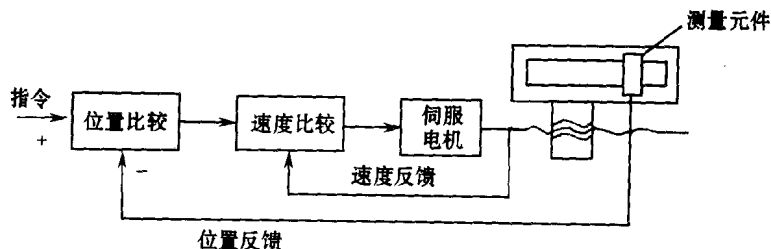


图 1-3 闭环系统

由于闭环伺服系统是反馈控制,反馈测量装置精度很高,所以系统传动链的误差,环内各元件的误差以及运动中造成的误差都可以得到补偿,从而大大提高了跟随精度和定位精度。目前闭环系统的分辨率多数为 $1\mu\text{m}$,定位精度可达 $\pm 0.01 \sim \pm 0.005\text{mm}$;高精度系统分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$ 。系统精度只取决于测量装置的制造精度和安装精度。

3. 半闭环系统

位置检测元件不直接安装在进给坐标的最终运动部件上(见图1-4),而是中间经过机械传动部件的位置转换,称为间接测量。亦即坐标运动的传动链有一部分在位置闭环以外,在环外的传动误差没有得到系统的补偿,因而这种伺服系统的精度低于闭环系统。

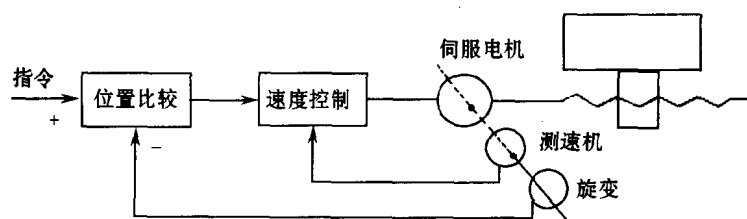


图 1-4 半闭环系统

半闭环和闭环系统的控制结构是一致的,不同点只是闭环系统环内包括较多的机械传动部件,传动误差均可被补偿。理论上精度可以达到很高。但由于受机械变形、温度变化、振动以及其它因素的影响,系统稳定性难以调整。此外,机床运行一段时间后,由于机械传动部件的磨损、变形及其它因素的改变,容易使系统稳定性改变,精度发生变化。因此,目前使用半闭环系统较多。只在具备传动部件精密度高、性能稳定、使用过程温差变化不大的高精度数控机床上才使用全闭环伺服系统。

1.3.2 按使用的驱动元件分类

1. 电液伺服系统

电液伺服系统的执行元件为液压元件,其前一级为电气元件。驱动元件为液动机和液压缸,常用的有电液脉冲马达和电液伺服马达。数控机床发展的初期,多数采用电液伺服系统。电液伺服系统具有在低速下可以得到很高的输出力矩,以及刚性好、时间常数小、反映快和速度平稳等优点。然而,液压系统需要油箱、油管等供油系统,体积大。此外,还有噪声、漏油等问题,故从20世纪70年代起逐步被电气伺服系统代替。只是具有特殊要求时,才采用电液伺服系统。

2. 电气伺服系统

电气伺服系统全部采用电子器件和电机部件,操作维护方便,可靠性高。电气伺服系统中的驱动元件主要有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机。它们没有液压系统中的噪声、污染和维修费用高等问题,但反应速度和低速力矩不如液压系统高,现在电机的驱动线路、电机本身的结构都得到很大改善,性能大大提高,已经在更大范围取代液压伺服系统。

1.3.3 按使用直流伺服电机和交流伺服电机分类

1. 直流伺服系统

直流伺服系统常用的伺服电机有小惯量直流伺服电机和永磁直流伺服电机(也称为大惯量宽调速直流伺服电机)。小惯量伺服电机最大限度地减少了电枢的转动惯量,所以能获得最好的快速性。在早期的数控机床上应用较多,现在也有应用。小惯量伺服电机一般都设计成有高的额定转速和低的惯量,所以应用时,要经过中间机械传动(如齿轮副)才能与丝杠相连接。

永磁直流伺服电机能在较大过载转矩下长时间工作以及电机的转子惯量较大,能直接与丝杆相连而不需中间传动装置。此外,它还有一个特点是可在低速下运转,如能在 1r/min 甚至在 0.1r/min 下平稳地运转。因此,这种直流伺服系统在数控机床上获得了广泛的应用。自70年代至80年代中期,在数控机床上应用占绝对统治地位,至今,许多数控机床上仍使用这种电机的直流伺服系统。永磁直流伺服电机的缺点是有电刷,限制了转速的提高,一般额定转速为 $1000 \sim 1500\text{r/min}$,而且结构复杂,价格较贵。

2. 交流伺服系统

交流伺服系统使用交流异步伺服电机(一般用于主轴伺服电机)和永磁同步伺服电机(一般用于进给伺服电机)。由于直流伺服电机存在着一些固有的缺点(如上所述),使其应用环境受到限制。交流伺服电机没有这些缺点,且转子惯量较直流电机小,使得动态响应好。另外在同样体积下,交流电机的输出功率可比直流电机提高 $10\% \sim 70\%$ 。还有交流电机的容量可以比直流电机造得大,达到更高的电压和转速。因此,交流伺服系统得到了迅速发展,已经形成潮流。从80年代后期开始,大量使用交流伺服系统,到今天,有些国家的厂家,已全部使用交流伺服系统。

1.3.4 按进给驱动和主轴驱动分类

1. 进给伺服系统

进给伺服系统是指一般概念的伺服系统,它包括速度控制环和位置控制环。进给伺服系统完成各坐标轴的进给运动,具有定位和轮廓跟踪功能,是数控机床中要求最高的伺服控制。

2. 主轴伺服系统

严格来说,一般的主轴控制只是一个速度控制系统。主要实现主轴的旋转运动,提供切削过程中的转矩和功率,且保证任意转速的调节,完成在转速范围内的无级变速。具有C轴控制的主轴与进给伺服系统一样,为一般概念的位置伺服控制系统。

此外,刀库的位置控制是为了在刀库的不同位置选择刀具,与进给坐标轴的位置控制相比,性能要低得多,故称为简易位置伺服系统。

1.3.5 按反馈比较控制方式分类

1. 脉冲、数字比较伺服系统

该系统是闭环伺服系统中的一种控制方式。它是将数控装置发出的数字(或脉冲)指令信号与检测装置测得的以数字(或脉冲)形式表示的反馈信号直接进行比较,以产生位

置误差,达到闭环控制。脉冲比较伺服系统如图 1-5 所示。

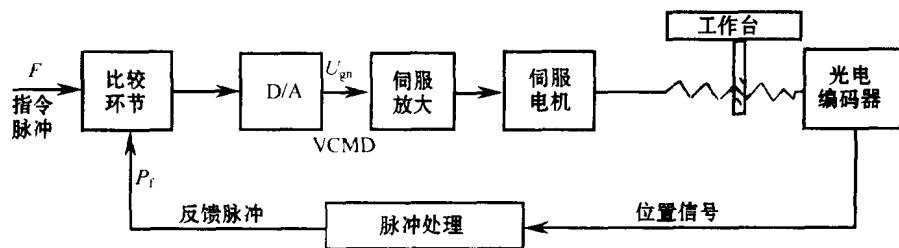


图 1-5 脉冲比较伺服系统

该系统比较环节采用可逆计数器,当指令脉冲为正、反馈脉冲为负时,计数器作加法运算;当指令脉冲为负、反馈脉冲为正时,计数器作减法运算。指令脉冲为正时,工作台正向移动;为负时,工作作反向运动。

指令脉冲 F 来自插补器,反馈脉冲 P_f 来自检测元件光电编码器。两个脉冲源是相互独立的,而脉冲频率随转速变化而变化。脉冲到来的时间不同或执行加法计数与减法计数若发生重叠,都会产生误操作。为此在可逆计数器前还有脉冲分离处理电路。

可逆计数器为 12 位计数器,允许计算范围是 $-2048 \sim +2047$ 。外部输入信号有加法计数脉冲输入信号 UP、减法计数脉冲输入信号 DW 和清零信号 CLR。

12 位可逆计数器的值反映了位置偏差,该计数值经 12 位 D/A 转换,输出双极性模拟电压,作为伺服系统速度控制单元的速度给定电压,由此可实现根据位置偏差控制伺服电机的转速和方向,即控制工作台向减少偏差的位置进给。

当计数器清零时,相当于 D/A 变换器输入数字量为 800H, D/A 输出量为 $U_{gn} = 0$,电机处于停转状态;当计数器值为 FFFH 时, D/A 输出量为 $+U_{REF}$ 最大值;当计数器值为 000H 时, D/A 输出量为 $-U_{REF}$ 最小值。 U_{REF} 为 D/A 装置的基准电压。改变 U_{REF} 之值或调整 D/A 输出电路中的调整电位器,即可获得速度控制单元所要求的控制电压极性和转速满刻度电压值。

脉冲、数字比较伺服系统结构简单,容易实现,整机工作稳定,在一般数控伺服系统中应用十分普遍。

2. 相位比较伺服系统

相位比较伺服系统中,位置检测装置采取相位工作方式,指令信号与反馈信号都变成某个载波的相位,然后通过两者相位的比较,获得实际位置与指令位置的偏差,实现闭环控制。

相位比较伺服系统的结构框图如图 1-6 所示。该系统采用了感应同步器作为位置检测元件。由感应同步器工作原理可知,当它工作在相位方式时,它是以定尺的相位检测信号经整形放大后所得到的 $P_B(\theta)$ 作为位置检测信号。指令脉冲 F 经脉冲调相后转换成重复频率为 f_0 的脉冲信号 $P_A(\theta)$,它与 $P_B(\theta)$ 是两个同频率的脉冲信号,其相位差 $\Delta\theta$ 即为指令位置和实际位置的偏差。 $\Delta\theta$ 的大小与极性由鉴相器判别检测出来。鉴相器在系统中起了比较环节的作用。鉴相器的输出是与此相位差 $\Delta\theta$ 成正比的电压信号,再用这个电压信号经放大后去控制速度单元驱动电动机带动工作台运动。

当指令脉冲 F 为正时,经脉冲调相后, $P_A(\theta)$ 产生正的相位移 $+\theta$,经与反馈脉冲 P_B