



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

丛书主编

王爱玲

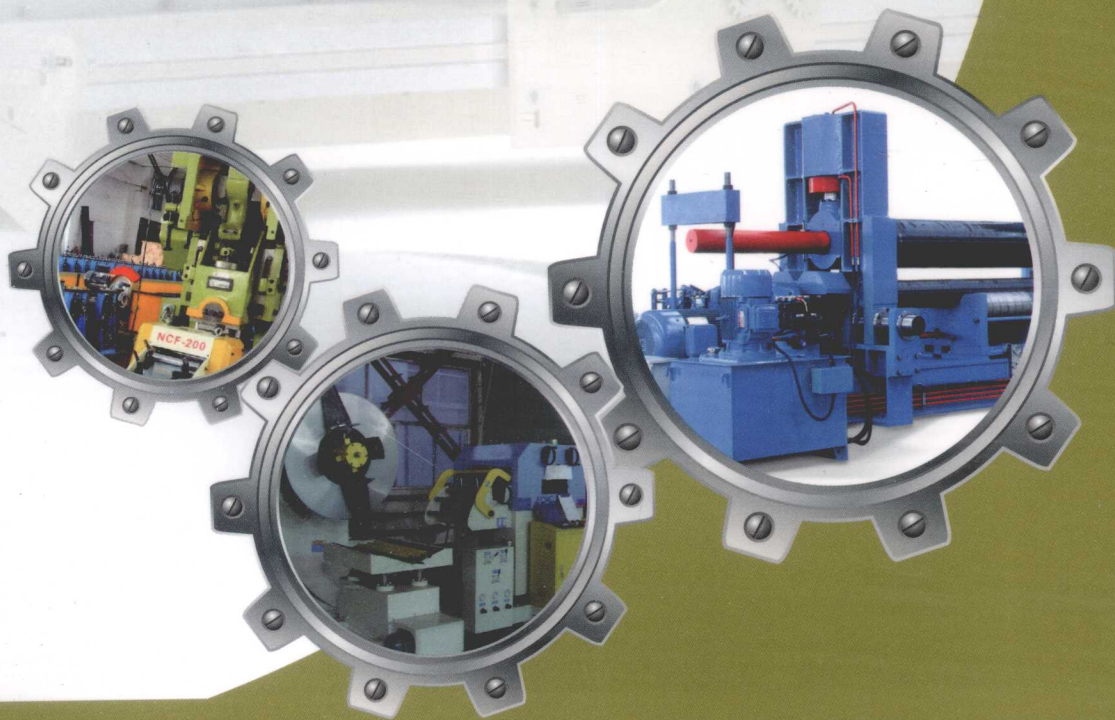
现代数控

机床伺服及检测技术

(第4版)

王爱玲 王俊元 马维金 彭彬彬 编著

现代数控技术系列 4



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代数控机床(第4版)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代数控机床 伺服及检测技术

(第4版)

王爱玲 王俊元 马维金 彭彬彬 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书在阐述数控伺服系统原理、半导体变流技术的基础上,重点介绍伺服系统常用传感器及检测装置、步进式伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统,并介绍位置伺服系统的典型实例。最后简要介绍直线伺服系统及新型驱动技术和电液伺服系统。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业、数控技术及机械电子专业方向的本科生教材和参考书,也可供从事数控技术领域工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控机床伺服及检测技术/王爱玲等编著.

—4版. —北京:国防工业出版社,2016.4

(现代数控技术系列/王爱玲主编)

ISBN 978-7-118-10741-8

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第080154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100048)

三河市鼎鑫印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本787×1092 1/16 印张20¼ 字数460千字

2016年4月第4版第1次印刷 印数1—5000册 定价55.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

“现代数控技术系列”(第4版)编委会

主 编 王爱玲

副主编 张吉堂 王 彪 王俊元

李梦群 沈兴全 武文革

编 委 (按姓氏笔画排序)

马维金 马清艳 王 彪 王俊元 王爱玲

刘丽娟 刘中柱 刘永姜 成云平 李 清

李梦群 杨福合 辛志杰 沈兴全 张吉堂

张纪平 陆春月 武文革 周进节 赵丽琴

段能全 梅林玉 梁晶晶 彭彬彬 曾志强

蓝海根

“现代数控技术系列”(第4版)总序

中北大学数控团队近期完成了“现代数控技术系列”(第4版)的修订工作,分六个分册:《现代数控原理及控制系统》《现代数控编程技术及应用》《现代数控机床》《现代数控机床伺服及检测技术》《现代数控机床故障诊断及维修》《现代数控加工工艺及操作技术》。该系列书2001年1月初版,2005年1月再版,2009年3月第3版,系列累计发行超过15万册,是国防工业出版社的品牌图书(其中,《现代数控机床伺服及检测技术》被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,《现代数控原理及控制系统》还被指定为博士生入学考试参考用书)。国内四五十所高等院校将系列作为相关专业本科生或研究生教材,企业从事数控技术的科技人员也将该系列作为常备的参考书,广大读者给予很高的评价。同时本系列也取得了较好的经济效益和社会效益,为我国飞速发展的数控事业做出了相当大的贡献。

根据读者的反馈及收集到的大量宝贵意见,在第4版的修订过程中,对本系列书籍(教材)进行了较大幅度的增、删和修改,主要体现在以下几个方面:

(1) 传承数控团队打造“机床数控技术”国家精品课程和国家精品网上资源共享课程时一贯坚持的“新”“精”“系”“用”要求(及时更新知识点、精选内容及参考资料、保持现代数控技术系列完整性、体现教材的科学性和实用价值)。

(2) 通过修订,重新确定各分册具体内容,对重复部分进行了协调删减。对必须有的内容,以一个分册为主,详细叙述;其他分册为保持全书内容完整性,可简略介绍或指明参考书名。

(3) 本次修订比例各分册不太一样,大致在30%~60%之间。

变更最大的是以前系列版本中《现代数控机床实用操作技术》,由于其与系列其他各本内容不够配套,第4版修订时重新编写成为《现代数控加工工艺及操作技术》。

《现代数控原理及控制系统》除对各章内容进行不同程度的更新外,特别增加了一章目前广泛应用的“工业机器人控制”。

《现代数控编程技术及应用》整合了与《现代数控机床》重复的内容,删除了陈旧的知识,增添了数控编程实例,还特别增加一章“数控宏程序编制”。

《现代数控机床》对各章节内容进行更新和优化,特别新增加了数控机床的人机工程学设计、数控机床总体设计方案的评价与选择等内容。

《现代数控机床伺服及检测技术》更新了伺服系统发展趋势的内容,增加了智能功率模块、伺服系统的动态特性、无刷直流电动机、全数字式交流伺服系统、电液伺服系统等内容,并对全书的内容进行了优化。

《现代数控机床故障诊断及维修》对原有内容进行了充实、精炼,对原有的体系结构进行了更新,增加了大量新颖的实例,修订比例达到60%以上。第9章及第11章5、6节全部内容是新增加的。

(4) 为进一步提升系列书的质量、有利于团队的发展,对参加编著的人员进行了调整。给学者们提供了一个新的平台,让他们有机会将自己在本学科的创新成果推广和应用到实践中去。具体内容见各分册详述及引言部分的介绍。

(5) 为满足广大读者,特别是高校教师需要,本次修订时,各分册将配套推出相关内容多媒体课件供大家参考、与大家交流,以达到共同提高的目的。

中北大学数控团队老、中、青成员均为第一线教师及实训人员,部分有企业工作经历,这是一支精诚团结、奋发向上、注重实践、甘愿奉献的队伍。一直以来坚守着信念:热爱我们的教育事业,为实现我国成为制造强国的梦想,为我国飞速发展的数控技术多培养出合格的人才。

从20世纪80年代王爱玲为本科生讲授“机床数控技术”开始,团队成员在制造自动化相关的科技攻关及数控专业教学方面获得了20多项国家级、省部级奖项。为适应培养数控人才的需求,团队特别重视教材建设,至今已编著出版了50多部数控技术相关教材、著作,内容涵盖了数控理论、数控技术、数控职业教育、数控操作实训及数控概论介绍等各个层面,逐步完善了数控技术教材系列化建设。

希望本次修订的“现代数控技术系列”(第4版)带给大家更多实用的知识,同时也希望得到更多读者的批评指正。

王爱玲

2015年8月

第4版引言

本书主要介绍数控技术中的伺服基础知识,系统地阐述了伺服系统中常用的传感器及检测装置、步进式伺服系统、直流伺服系统和交流伺服系统以及直线伺服系统、电液伺服系统等的工作原理及其应用。

本书自2002年第1版出版以来深受读者欢迎,2005年应广大读者的要求进行了认真的修改、补充,修订出版,2009年3月再次修订,出版第3版。从2009年至今,由于数控技术的发展,需再次修订。

在再版之际,除修正原来的笔误、印刷错误外,根据相关技术发展和原版使用情况,更新了伺服系统发展趋势的内容,增加了智能功率模块、伺服系统的动态特性、无刷直流电动机、全数字式交流伺服系统、电液伺服系统等内容,最后对全书的内容进行了优化。书中内容是在近几年本专科教学实践及面向工厂从事数控技术开发与应用的工程技术人员的培训实践基础上编写而成的。编写中在着力基本概念和基本原理阐述的同时,特别注重实际应用。

本书由中北大学王爱玲、王俊元任主编,马维金、彭彬彬任副主编。第1章由王爱玲编写,第2章由王俊元编写,第3章由马维金编写,第4章由段能全编写,第5章由彭彬彬编写,第6章由杨福合编写,第7章由刘丽娟编写,第8章由梅林玉编写,第9章由张纪平编写。王俊元教授对全书进行了统稿和审阅,王爱玲教授进行了全书的终审。对上述同志为本书修订再版所做的工作一并致谢。

鉴于我们的水平和经验有限,书中难免有疏漏或不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2015年8月

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	5
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
1.4 伺服系统的发展历史与发展趋势	9
1.4.1 伺服系统的发展历史	9
1.4.2 数控伺服系统的发展趋势	11
第2章 伺服控制基础知识	13
2.1 运算放大器	13
2.1.1 反相比例放大器	13
2.1.2 反相比例加法运算放大器	15
2.1.3 同相比例放大器	15
2.1.4 积分运算放大器	16
2.1.5 比例积分运算放大器	17
2.1.6 运算放大器作为比较器使用	18
2.2 电力半导体器件	19
2.2.1 晶闸管(SCR)	19
2.2.2 全控型电力半导体器件	21
2.2.3 智能功率模块(IPM)	23
2.3 伺服系统的动态特性	24
2.3.1 伺服系统的数学模型	24
2.3.2 伺服系统的动态特性分析	26

第3章 伺服系统常用传感器及检测装置	28
3.1 概述	28
3.1.1 伺服系统检测装置的作用与要求	28
3.1.2 伺服系统检测装置的分类	29
3.2 旋转变压器	30
3.2.1 结构和工作原理	30
3.2.2 旋转变压器的应用	31
3.3 感应同步器	32
3.3.1 基本原理	33
3.3.2 结构	33
3.3.3 感应同步器的检测系统	34
3.3.4 感应同步器的特点	38
3.3.5 感应同步器安装使用的注意事项	39
3.4 脉冲编码器	39
3.4.1 概述	39
3.4.2 增量式光电脉冲编码器	40
3.4.3 绝对值式光电脉冲编码器	45
3.5 光栅	48
3.5.1 光栅的种类与精度	48
3.5.2 工作原理	50
3.5.3 光栅检测装置	52
3.6 磁栅	55
3.6.1 磁性标尺	55
3.6.2 磁头	56
3.6.3 检测电路	58
3.7 测速发电机	59
3.7.1 交流异步测速发电机	59
3.7.2 直流测速发电机	60
3.8 球栅尺	61
3.8.1 概述	61
3.8.2 球栅尺的结构和工作原理	61
3.8.3 球栅尺的安装及应用	62
第4章 步进伺服系统	63
4.1 步进伺服系统概述	63
4.2 步进电动机的原理、特性及选用	64

4.2.1	步进电动机工作原理及运行方式	64
4.2.2	步进电动机的运行特性	71
4.2.3	步进电动机的选用	76
4.3	步进电动机的控制与驱动	77
4.3.1	基本问题	78
4.3.2	开关元件与驱动拓扑	80
4.3.3	步进电动机的驱动控制	81
4.4	步进伺服系统的应用	86
4.4.1	步进电动机的控制系统	86
4.4.2	步进电动机与微机的接口	87
4.4.3	步进电动机控制信号的产生及标度变换	89
4.4.4	步进电动机的运行控制及程序设计	92
4.4.5	步进电动机的变速控制及程序设计	95
第5章	直流伺服电动机及其速度控制	108
5.1	直流(DC)伺服电动机概述	108
5.1.1	直流伺服电动机的基本工作原理	108
5.1.2	直流伺服电动机的基本结构	109
5.1.3	直流伺服电动机的分类	112
5.1.4	永磁直流伺服电动机	114
5.1.5	无刷进给直流伺服电动机	118
5.1.6	对直流伺服电动机的要求及选用	121
5.2	直流电力拖动控制系统的基本知识	126
5.2.1	电力拖动系统的组成	126
5.2.2	他励直流电动机的起动	126
5.2.3	他励直流电动机的机械特性	128
5.2.4	他励直流电动机的人为特性	129
5.2.5	直流电动机的调速方法	131
5.2.6	直流力矩伺服电动机的特性	132
5.2.7	电力拖动控制系统的主要技术指标	134
5.3	直流电动机晶闸管供电的速度控制系统	138
5.3.1	具有转速负反馈的单闭环晶闸管——电动机调速系统	138
5.3.2	PI调节器与无静差转速负反馈单闭环调速系统	141
5.3.3	晶闸管供电转速电流双闭环直流调速系统	143
5.4	晶体管直流脉宽(PWM)调速系统	148
5.4.1	脉宽调制基本原理	148
5.4.2	直流脉宽调速系统的控制电路	159

5.4.3	H 型倍频单极式开关放大器工作分析	167
5.5	脉宽调速系统实例	173
5.5.1	脉宽调制双环可逆调速系统	173
5.5.2	双机双轴两相推挽斩波调速系统	176
5.6	直流调速系统应用特点	179
第 6 章	交流伺服电动机及其速度控制	180
6.1	交流伺服电动机	180
6.1.1	交流伺服电动机的分类和特点	180
6.1.2	永磁同步交流进给伺服电动机	181
6.1.3	感应式异步交流主轴伺服电动机	183
6.1.4	交流伺服电动机的发展动向	185
6.2	交流电动机调速原理	187
6.2.1	交流调速的基本技术途径	187
6.2.2	异步电动机的等效电路及机械特性	188
6.2.3	交流变频调速系统基本分析	189
6.3	变频调速技术	191
6.3.1	变频器的分类与特点	191
6.3.2	晶闸管交-直-交变频器	195
6.3.3	脉宽调制型(PWM)变频器	204
6.3.4	正弦波脉宽调制(SPWM)变频器	205
6.4	交流电动机的矢量控制调速系统	208
6.4.1	概述	208
6.4.2	矢量变换的运算功能及原理电路	209
6.4.3	磁通的检测	213
6.5	矢量变换控制的 SPWM 调速系统	214
6.6	无整流子电动机调速系统	216
6.7	全数字式交流伺服系统	218
6.7.1	全数字伺服的特点	218
6.7.2	前馈控制简介	219
6.7.3	全数字伺服系统举例	220
6.8	交流伺服系统的发展动向	222
第 7 章	位置伺服系统	223
7.1	进给伺服系统的概述	223
7.1.1	伺服系统常用的控制方式	223
7.1.2	数控机床运动方式对伺服系统的要求	226

7.1.3	检测信号反馈比较方式	227
7.2	进给伺服系统分析	227
7.2.1	进给伺服系统的数学模型	227
7.2.2	进给伺服系统的动、静态性能分析	229
7.2.3	位置伺服控制技术	231
7.2.4	位置指令信号分析	237
7.2.5	指令值的修正	238
7.3	脉冲比较的进给伺服系统	239
7.3.1	脉冲比较式进给位置伺服系统	239
7.3.2	脉冲比较进给系统组成原理	241
7.3.3	脉冲比较电路	241
7.4	相位比较的进给伺服系统	244
7.4.1	相位伺服进给系统组成原理	244
7.4.2	脉冲调相器	245
7.4.3	鉴相器	247
7.5	幅值比较的进给伺服系统	249
7.5.1	幅值伺服系统组成原理	249
7.5.2	鉴幅器	251
7.5.3	电压-频率变换器	252
7.5.4	脉冲调宽式正余弦信号发生器	253
7.6	数据采样式进给伺服系统	255
7.6.1	数据采样式进给位置伺服系统	255
7.6.2	反馈补偿式步进电动机进给伺服系统	257
第8章	直线伺服系统及新型驱动技术	259
8.1	直线伺服系统概述	259
8.1.1	直线伺服电动机的结构和分类	260
8.1.2	直线伺服系统的特点	262
8.2	直线电动机的工作原理和控制方法	264
8.2.1	直线电动机的基本工作原理	264
8.2.2	直线电动机的控制方法	265
8.3	直线伺服系统的应用	268
8.3.1	直线伺服系统控制	268
8.3.2	直线电动机的冷却	271
8.3.3	直线电动机的选择	272
8.3.4	直线电动机在机床上的应用	272
8.4	新型驱动技术及元件	276

8.4.1	传统改进型电磁式驱动技术	276
8.4.2	新发展型电磁式驱动技术	277
8.4.3	非电磁驱动技术	277
8.4.4	新型驱动元件	279
第9章	电液伺服系统	282
9.1	电液伺服系统概述	282
9.1.1	电液伺服系统组成	282
9.1.2	电液伺服系统种类	282
9.1.3	电液伺服系统工作原理	284
9.1.4	电液伺服系统优缺点	284
9.1.5	电液伺服系统发展方向	285
9.2	电液伺服阀	285
9.2.1	电液伺服阀组成	286
9.2.2	电液伺服阀分类	286
9.2.3	电液伺服阀特性	288
9.2.4	电液伺服阀的选用	291
9.3	电液伺服马达	293
9.3.1	电液伺服马达组成及工作原理	293
9.3.2	电液伺服马达分类	293
9.3.3	电液伺服马达的应用	295
9.4	电液伺服油缸	295
9.4.1	电液伺服油缸组成及分类	295
9.4.2	电液伺服油缸原理	296
9.4.3	电液伺服缸与普通液压缸的比较	296
9.5	电液伺服系统模型及分析	297
9.5.1	电液伺服系统模型建立	298
9.5.2	电液伺服系统模型的动态分析	303
9.6	典型电液伺服系统应用	306
参考文献		309

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。在自动控制理论中,伺服系统称为随动控制系统,它与恒值控制系统相对应。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。

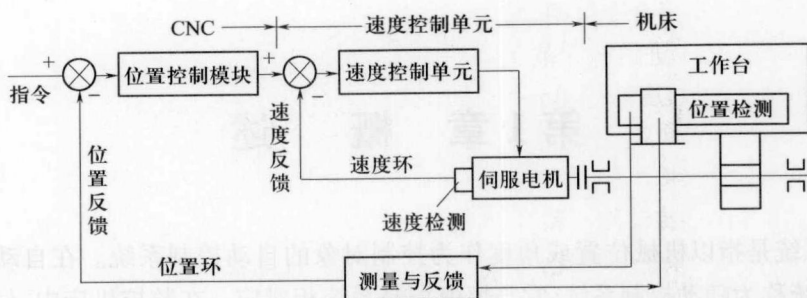


图 1-1 伺服系统结构图

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、直径、部位以及刀具的种类和冷却方式等的不同,数控机床要求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 $1 \sim 24000\text{mm/min}$ 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 20s^{-1} 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的起动、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称为分辨率。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滑运转,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 $4 \sim 6$ 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起动电压。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 以内从静止起动到额定转速。

(4) 电机应能承受频繁起动、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(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动机或电液脉冲马达。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。

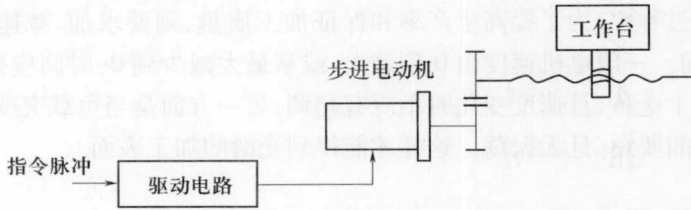


图 1-2 开环伺服系统

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(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。

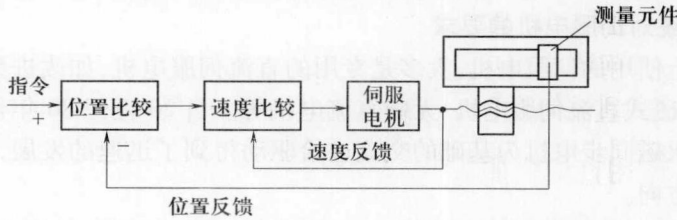


图 1-3 闭环系统

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力多数为 $1\mu\text{m}$,定位精度可达 $(\pm 0.01 \sim \pm 0.05)\text{mm}$;高精度系统分辨力可达 $0.1\mu\text{m}$ 。系统精度只取决于测量装置的制造精度和安装精度。