

现代数控技术系列

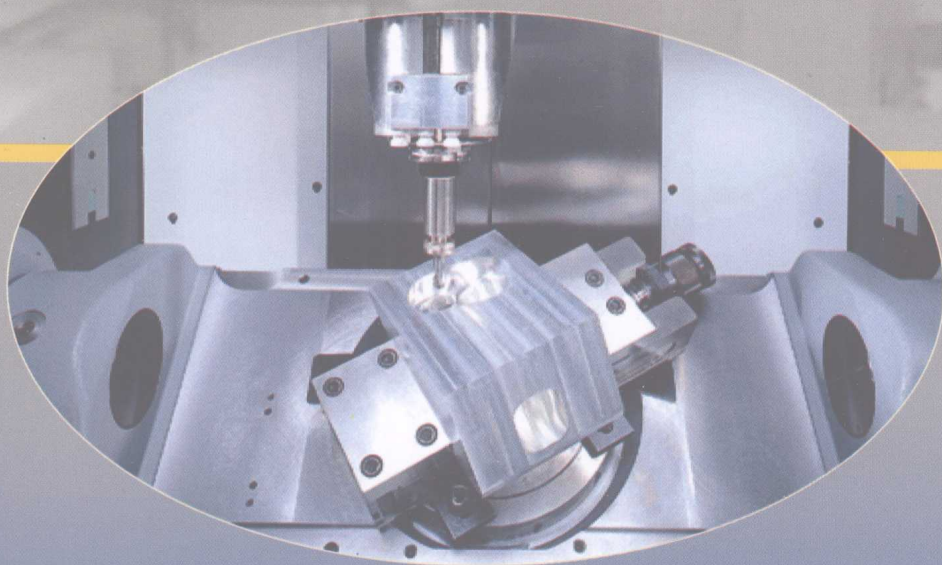


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代数控机床 伺服及检测技术

(第3版)

王爱玲 王俊元 马维金 彭彬彬 等编著
主 编 王爱玲 副主编 王俊元



国防工业出版社
National Defense Industry Press

现代数控技术系列
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3版)

王爱玲 王俊元 马维金 彭彬彬 等编著
主编 王爱玲 副主编 王俊元

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书的主要内容是在阐述数控伺服系统原理、半导体变流技术的基础上,重点讲述了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,并给出了位置伺服系统的典型实例。最后简要介绍了直线伺服系统及新型驱动技术。

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的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 / 王爱玲等编著. —3 版.

北京: 国防工业出版社, 2009. 3

(现代数控技术系列)

ISBN 978 - 7 - 118 - 06175 - 8

I. 现... II. 王... 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(2009)第 011675 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

※

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 1/4 字数 375 千字

2009 年 3 月第 3 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《现代数控技术系列》编辑委员会

主 编 王爱玲

副主编 张吉堂

编 委 (按姓氏笔画排序)

马维金	王 彪	王俊元	王爱玲	朱丽梅
刘中柱	刘永姜	关世玺	孙旭东	李梦群
李耀明	杨福合	吴淑琴	辛志杰	沈兴全
张吉堂	陆春月	武文革	赵丽琴	彭彬彬
曾志强	蓝海根			

第3版序

《现代数控技术系列》包括六个分册:《现代数控原理及控制系统》、《现代数控机床伺服及检测技术》、《现代数控编程技术及应用》、《现代数控机床故障诊断及维修》、《现代数控机床实用操作技术》和《现代数控机床》,前五个分册 2001 年 1 月初版,2005 年 1 月再版;后一分册 2003 年 4 月初版,2005 年 8 月第 2 次印刷时列入《现代数控技术系列》。该系列图书出版以来,深受数控技术领域广大师生和相关技术人员的欢迎。天津大学、天津工业大学、西安工业大学、广东工业大学、兰州理工大学等几十所高等院校将其作为本科生或研究生教材,天津工业大学还将《现代数控原理及控制系统》作为博士生入学考试参考用书,许多从事数控技术的科技人员也将其作为常备的参考书,广大读者对该系列书籍给予很高的评价。前两版各分册市场销售均超过 3 万册,取得了较好的社会效益和经济效益,为我国飞速发展的数控事业做出了一定贡献。

根据读者的反映及收集到的大量宝贵意见,结合数控技术发展的现状,现再次对《现代数控技术系列》进行修订,出版第 3 版(《现代数控机床》出版第 2 版)。本次修订对各分册进行了较大幅度的修改和结构调整,主要体现在以下几个方面:

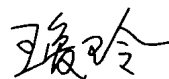
1. 力求反映数控技术的最新发展。如《现代数控原理及控制系统》:删除了一部分陈旧的内容,增加了介绍 STEP-NC 标准的内容、STEP-NC 数控系统的译码过程、DNC 数控系统输入方式、曲面插补和螺纹加工算法、S 型加减速控制、自适应加减速控制、开放式数控系统接口等内容;《现代数控编程技术及应用》:在加工中心的编程部分,增加四轴、五轴加工中心编程内容的介绍,同时增加大型 CAD 软件中 CAM 部分的内容,如 Pro/E、Master CAM 等;《现代数控机床》:更新了数控机床的新技术和最新发展趋势,增加了并联机床、多轴车削中心、复合加工中心等内容,并结合参编作者的博士论文研究成果,更新了数控机床结构设计基本原则、数控机床的总体布局、数控机床的计算机辅助分析与设计等内容;《现代数控机床故障诊断及维修》:对第 2、8、9、10 章进行较大改动,增加开放式数控系统维修的内容,增加并重写了信号的描述、常用数学变换、时域分析、频域分析到频谱分析、时间序列分析,以及故障检测及常用诊断仪器仪表,精选了数控机床维修实例并增加了数控机床故障诊断技术的最新进展;《现代数控机床实用操作技术》:对数控操作技术相关的知识如数控刀具、工件装夹等作了较为详细的阐述,并增加或更新了每一章节的内容,在选用典型控制系统时,既考虑到目前国内常用的系统,又体现科学性、先进性;《现代数控机床伺服及检测技术》分册已列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,结合最新成果进行了重新编写。

2. 重新确定各分册具体内容,使各分册间的内容衔接更紧密,既避免了重复内容,又

考虑到各分册单独使用时的相对独立性,使知识的系统性更强、更科学。

3. 调整了编著者队伍,邀请有实际经验的教师、学业有成的教授、博士参加编写。

我希望第3版《现代数控技术系列》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与指正。



2008年11月

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。

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

第3版前言

本书是《现代数控技术系列》之一。自2002年出版以来深受读者的欢迎,2005年应广大读者的要求,对本系列书进行了认真的修改、补充,再行出版。从2005年到现在,数控技术的发展十分迅速。为了适应数控技术日新月异的发展形势和实际需求,现再次修订,出版《现代数控机床伺服及检测技术》(第3版)。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等的工作原理及其应用。本书系普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

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,增加了伺服系统的发展历史和发展趋势、测速发电机等两节内容,对步进电动机及其驱动控制系统一章内容进行了删改,对直流伺服电动机及其速度控制一章内容进行了补充,对伺服系统常用传感器及检测装置、直线伺服系统及新型驱动技术等两章内容进行了改写,对直线电动机技术进行了重点介绍,最后对全书的章节内容重新优化了排列顺序。

本书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培训实践基础上编写而成的。编写中在着重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教授任主编,王俊元教授任副主编。第1章由王爱玲教授编写,第2章由王俊元教授编写,第3章由马维金副教授编写,第4章由张吉堂教授编写,第5章由孙旭东讲师编写,第6章由关世玺副教授编写,第7章、第8章由彭彬彬副教授编写。王俊元教授对全书进行了统稿和审阅。

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
2008. 11

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	12
2.1 运算放大器的应用	12
2.1.1 反相比例放大器	12
2.1.2 反相比例加法运算放大器	13
2.1.3 同相比例放大器	14
2.1.4 积分运算放大器	15
2.1.5 比例积分运算放大器	16
2.1.6 运算放大器作为比较器使用	16
2.2 电力半导体器件	18
2.2.1 晶闸管(SCR)	18
2.2.2 其他电力半导体器件介绍	20
第 3 章 伺服系统常用传感器及检测装置	23
3.1 概述	23
3.1.1 伺服系统检测装置的作用与要求	23
3.1.2 伺服系统检测装置的分类	24

3.2	旋转变压器	25
3.2.1	结构和工作原理	25
3.2.2	旋转变压器的应用	26
3.3	感应同步器	27
3.3.1	基本原理	28
3.3.2	结构	28
3.3.3	感应同步器的检测系统	29
3.3.4	感应同步器的特点	33
3.3.5	感应同步器安装使用的注意事项	34
3.4	脉冲编码器	34
3.4.1	概述	34
3.4.2	增量式光电脉冲编码器	35
3.4.3	绝对值式光电脉冲编码器	40
3.5	光栅	43
3.5.1	光栅的种类与精度	43
3.5.2	工作原理	45
3.5.3	光栅检测装置	47
3.6	磁栅	50
3.6.1	磁性标尺	50
3.6.2	磁头	51
3.6.3	检测电路	53
3.7	测速发电机	54
3.7.1	交流异步测速发电机	54
3.7.2	直流测速发电机	55
第4章	步进电动机及其驱动控制系统	57
4.1	步进电动机的种类结构及其工作原理	57
4.1.1	反应式步进电动机	57
4.1.2	多段反应式步进电动机	61
4.1.3	混合式步进电动机	61
4.2	步进电动机的特性及选用	63
4.2.1	步进电动机的运行性能	63
4.2.2	步进电动机的选用	68
4.3	步进电动机的控制与驱动	69
4.3.1	步进电动机的控制方法	69
4.3.2	步进电动机驱动电源设计	71
4.3.3	步进电动机与微机的接口技术	76

4.4	步进电动机的控制及其程序设计	78
4.4.1	步进电动机控制信号的产生及标度变换	78
4.4.2	步进电动机的运行控制及程序设计	81
4.4.3	步进电动机的变速控制及程序设计	84
第5章	直流伺服电动机及其速度控制	97
5.1	直流(DC)伺服电动机概述	97
5.1.1	直流伺服电动机的基本工作原理	97
5.1.2	直流伺服电动机的基本结构	98
5.1.3	直流伺服电动机的分类	101
5.1.4	永磁直流伺服电动机	103
5.1.5	对直流伺服电动机的要求及选用	107
5.2	直流电力拖动控制系统的基本知识	112
5.2.1	电力拖动系统的组成	112
5.2.2	他励直流电动机的起动	112
5.2.3	他励直流电动机的机械特性	114
5.2.4	他励直流电动机的人为特性	115
5.2.5	直流电动机的调速方法	117
5.2.6	直流力矩伺服电动机的特性	118
5.2.7	电力拖动控制系统的主要技术指标	120
5.3	直流电动机晶闸管供电的速度控制系统	124
5.3.1	具有转速负反馈的单闭环晶闸管——电动机调速系统	124
5.3.2	PI调节器与无静差转速负反馈单闭环调速系统	127
5.3.3	晶闸管供电转速电流双闭环直流调速系统	129
5.4	晶体管直流脉宽(PWM)调速系统	134
5.4.1	脉宽调制基本原理	134
5.4.2	直流脉宽调速系统的控制电路	145
5.4.3	H型倍频单极式开关放大器工作分析	153
5.5	脉宽调速系统实例	159
5.5.1	脉宽调制双环可逆调速系统	159
5.5.2	双机双轴两相推挽斩波调速系统	162
第6章	交流伺服电动机及其速度控制	166
6.1	交流伺服电动机	166
6.1.1	交流伺服电动机的分类和特点	166
6.1.2	永磁交流伺服电动机	167
6.1.3	交流伺服电动机的发展动向	169

6.1.4	交流主轴电动机	170
6.2	交流电动机调速原理	172
6.2.1	交流调速的基本技术途径	172
6.2.2	异步电动机的等效电路及机械特性	173
6.2.3	交流变频调速系统基本分析	174
6.3	变频调速技术	176
6.3.1	变频器的分类与特点	176
6.3.2	晶闸管交—直—交变频器	180
6.3.3	脉宽调制型(PWM)变频器	189
6.3.4	正弦波脉宽调制(SPWM)变频器	190
6.4	交流电动机的矢量控制调速系统	193
6.4.1	概述	193
6.4.2	矢量变换的运算功能及原理电路	194
6.4.3	磁通的检测	198
6.5	矢量变换控制的 SPWM 调速系统	199
6.6	无整流子电动机调速系统	201
6.7	交流伺服系统的发展动向	203
第7章	位置伺服系统	204
7.1	进给伺服系统的概述	204
7.1.1	伺服系统常用的控制方式	204
7.1.2	数控机床运动方式对伺服系统的要求	207
7.1.3	检测信号反馈比较方式	208
7.2	进给伺服系统分析	208
7.2.1	进给伺服系统的数学模型	208
7.2.2	进给伺服系统的动、静态性能分析	210
7.2.3	前馈控制	212
7.2.4	位置指令信号分析	213
7.2.5	指令值的修正	214
7.3	脉冲比较的进给伺服系统	214
7.3.1	脉冲比较式进给位置伺服系统	214
7.3.2	脉冲比较进给系统组成原理	216
7.3.3	脉冲比较电路	217
7.4	相位比较的进给伺服系统	219
7.4.1	相位伺服进给系统组成原理	219
7.4.2	脉冲调相器	220
7.4.3	鉴相器	223

7.5	幅值比较的进给伺服系统·····	224
7.5.1	幅值伺服系统组成原理·····	225
7.5.2	鉴幅器·····	226
7.5.3	电压—频率变换器·····	227
7.5.4	脉冲调宽式正余弦信号发生器·····	228
7.6	数据采样式进给伺服系统·····	231
7.6.1	数据采样式进给位置伺服系统·····	231
7.6.2	反馈补偿式步进电动机进给伺服系统·····	233
第8章	直线伺服系统及新型驱动技术·····	235
8.1	直线伺服系统概述·····	235
8.1.1	直线伺服电动机的分类·····	236
8.1.2	直线伺服系统的特点·····	237
8.2	直线感应电动机·····	238
8.2.1	直线感应电动机的基本工作原理·····	238
8.2.2	直线交流伺服系统的控制方法·····	239
8.3	直线伺服系统的应用·····	242
8.3.1	直线伺服系统的原理和性能·····	242
8.3.2	直线电动机的冷却·····	247
8.3.3	直线电动机的选择·····	247
8.4	新型驱动元件·····	248
8.4.1	电滚珠丝杆·····	248
8.4.2	电磁伸缩杆·····	249
8.4.3	球电动机·····	250
	参考文献·····	252

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,伺服系统叫做随动控制系统,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。

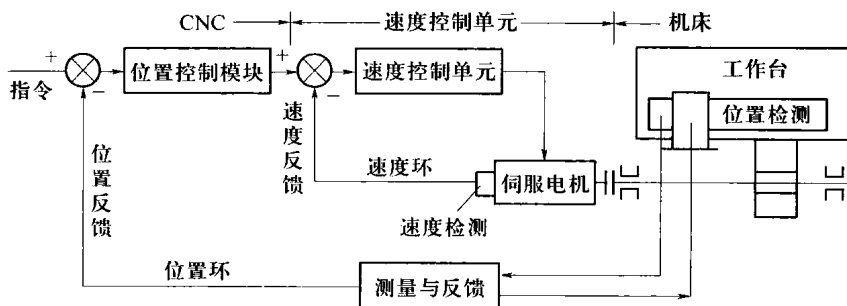


图 1-1 伺服系统结构图

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、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 $201/s$ 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的启动、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 $1\mu m$ 甚至 $0.1\mu m$,高的可达到 $(\pm 0.01 \sim \pm 0.005)\mu m$ 。

相应地,对伺服系统的分辨力也提出了要求。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力。系统分辨力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 $1\mu m$ 的分辨力。数控测量装置的分辨力可达 $0.1\mu m$ 。高精度数控机床也可达到 $0.1\mu m$ 的分辨力,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。