



普通高等院校“十一五”规划教材  
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根

# 数控技术课程设计

SHUKONG JISHU KECHENG SHEJI

范超毅 赵天婵 吴斌方 主编  
张建钢 主审

华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

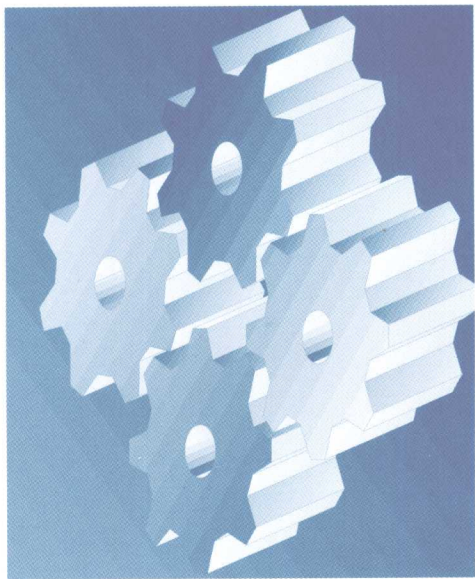




普通高等院校“十一五”规划教材  
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根

# 数控技术课程设计



主 编 范超毅 赵天婵 吴斌方  
副主编 吴晓光 刘 民 闵 珉  
张金姣  
参 编 谢剑刚 肖 莉 肖 红  
张 驰  
主 审 张建功

华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

**图书在版编目(CIP)数据**

数控技术课程设计/范超毅 赵天婵 吴斌方 主编. —武汉:华中科技大学出版社,  
2007年5月

ISBN 978-7-5609-4003-8

I. 数… I. ①范… ②赵… ③吴… III. 数控机床-课程设计-高等学校-教材  
IV. TG659-41

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第058691号

**数控技术课程设计**

·范超毅 赵天婵 吴斌方 主编

策划编辑:王连弟

责任编辑:万亚军

责任校对:张 梁

封面设计:潘 群

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

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开本:787mm×960mm 1/16

印张:15.75 插页:6

字数:319 000

版次:2007年5月第1版

印次:2007年5月第1次印刷

定价:24.80元

ISBN 978-7-5609-4003-8/TG·76

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

# 普通高等院校“十一五”规划教材

## 普通高等院校机械类精品教材

### 编审委员会

顾 问：杨叔子 华中科技大学

李培根 华中科技大学

总主编：吴昌林 华中科技大学

委 员：（按姓氏拼音顺序排列）

崔洪斌 河北科技大学

冯 浩 景德镇陶瓷学院

高为国 湖南工程学院

郭钟宁 广东工业大学

韩建海 河南科技大学

孔建益 武汉科技大学

李光布 上海师范大学

李 军 重庆交通大学

黎秋萍 华中科技大学出版社

刘成俊 重庆科技学院

柳舟通 黄石理工学院

卢道华 江苏科技大学

鲁屏宇 江南大学

梅顺齐 武汉科技学院

孟 逵 河南工业大学

芮执元 兰州理工大学

汪建新 内蒙古科技大学

王生泽 东华大学

杨振中 华北水利水电学院

易际明 湖南工程学院

尹明富 天津工业大学

张 华 南昌大学

张建钢 武汉科技学院

赵大兴 湖北工业大学

赵天婵 江汉大学

赵雪松 安徽工程科技学院

郑清春 天津理工大学

周广林 黑龙江科技学院

## 内 容 提 要

本书取材于生产实践,注重理论联系实际,机械电子有机结合。全书分为绪论、数控机床进给传动系统设计、数控机床控制系统设计、数控机床进给传动系统设计实例四章。其中包括:进给传动系统的轴向负载计算;导轨的设计与选型;滚珠丝杠螺母副的选型与计算;进给传动系统的刚度计算与误差分析;驱动电动机的选型与计算;进给传动系统的动态特性分析;驱动电动机与滚珠丝杠的连接;控制系统软件、硬件的基本组成及结构;计算机伺服控制系统、PLC控制系统等内容。本书特别列举了三个设计实例(立式数控铣床工作台(X轴)设计、立式加工中心工作台(X轴)设计、普通车床数控化改造设计),并附录了设计时需查阅的各类表格、设计图纸,为设计提供了详细的参考资料。

本书可作为普通本科院校机械类专业数控技术课程设计的指导书,也可供高职高专院校的师生以及从事数控机床设计和普通机床数控化改造工作的工程技术人员参考。

# 序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来许多普通院校采用规划教材就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内

容不在深浅,能切合学生培养目标,能抓住学生应掌握的要言,能做到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

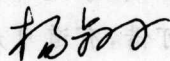
华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十所开设应用型机械专业的院校,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的是,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设,特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士

教育部高等学校机械学科指导委员会主任



2006.1

# 前 言

数控技术课程设计是高等院校机械类各专业实践性很强的、重要的课程设计。针对各用人单位对大学毕业生人才技能需求,对于工科专业的大学生,在培养过程中,学校必须加强实践环节,把学生置身于工程背景之中,以提高学生的就业率和就业水平。本书就是本着这一指导思想编写的,将工程应用贯穿全书,理论联系实际。此书可作为学生今后从事数控机床设计及改造普通机床的参考书。

本书的主要内容如下:绪论;数控机床进给传动系统的设计,其中包括进给传动系统的轴向负载计算,导轨的设计与选型,滚珠丝杠螺母副的选型与计算,进给传动系统刚度计算与误差分析,驱动电动机的选型与计算,进给传动系统动态特性分析,驱动电动机与滚珠丝杠的连接;数控机床控制系统设计,其中包括控制系统软件、硬件的基本组成,计算机伺服控制系统,PLC 控制系统;数控机床进给传动系统设计实例,其中包括立式数控铣床工作台(X 轴)设计、立式加工中心工作台(X 轴)设计、普通车床数控化改造设计三个实例。

本书具有以下特点:紧密结合生产实际,机械电子有机结合,并附有目前生产中常用的各类图表,内容丰富。学生根据本书进行数控技术课程设计后,可初步掌握改造一般车床、设计数控机床的方法和步骤,可为学生今后工作打下良好基础。因此,本书是一本实用性较强的教材。

参加本书编写的有:江汉大学范超毅、赵天婵、闵珉,湖北工业大学吴斌方、张金姣,武汉科技学院吴晓光、张驰,三峡大学刘民,武汉科技大学谢剑刚,武汉工程大学肖莉,荆楚理工学院肖红。第 1 章、第 2 章、第 4 章及附录 A、部分插页图由范超毅、赵天婵编写,第 3 章及部分插页图由吴斌方编写,吴晓光、张驰、刘民、闵珉、张金姣、谢剑刚、肖莉、肖红参与了有关编写工作。全书由范超毅、赵天婵、吴斌方主编,吴晓光、刘民、闵珉、张金姣副主编,范超毅统稿,张建钢主审。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2006 年 11 月



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)
1.1 我国数控技术的发展概况 .....	(1)
1.2 数控技术课程设计的主要研究对象 .....	(4)
1.3 数控技术课程设计的主要目的与内容 .....	(5)
1.4 本书的特点与使用建议 .....	(7)
<b>第 2 章 数控机床的进给传动系统设计</b> .....	(10)
2.1 进给传动系统的轴向负载计算.....	(10)
2.2 导轨的设计与选型.....	(17)
2.3 滚珠丝杠螺母副的选型与计算.....	(36)
2.4 进给传动系统的刚度计算.....	(63)
2.5 进给传动系统的误差分析.....	(67)
2.6 驱动电动机的选型与计算.....	(68)
2.7 进给传动系统的动态特性分析.....	(78)
2.8 驱动电动机与滚珠丝杠的连接.....	(81)
<b>第 3 章 数控机床控制系统设计</b> .....	(103)
3.1 控制系统硬件的基本组成 .....	(103)
3.2 控制系统软件的组成及结构 .....	(118)
3.3 计算机伺服控制系统 .....	(120)
3.4 可编程控制器(PLC)控制系统 .....	(137)
3.5 HED-21S 数控系统综合实验台简介 .....	(153)
<b>第 4 章 数控机床进给传动系统设计实例</b> .....	(166)
4.1 立式数控铣床工作台(X轴)设计 .....	(166)
4.2 立式加工中心工作台(X轴)设计 .....	(178)
4.3 普通车床的数控化改造设计 .....	(190)
<b>附录 A 附表</b> .....	(205)
<b>参考文献</b> .....	(242)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 我国数控技术的发展概况

### 1. 数控技术在国民经济中的重要地位

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术,是 20 世纪后半叶最重要、发展最快的工业技术之一,它以制造过程为对象,以信息技术为手段,以数字坐标方式对运动部件进行位置控制为主要特征,为单件小批量生产的自动化开辟了可行的技术途径,也为现代柔性制造技术奠定了重要的技术基础。

数控机床是以数控技术为代表的新技术对传统制造业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品,其技术覆盖很多领域。其中,精密机械制造技术,信息处理、加工、传输技术,自动控制技术,伺服驱动技术,传感器及检测技术和计算机技术是数控技术涵盖的主要领域。数控机床还是运用高新技术对传统产业进行改进和提升的重要载体。

以信息化带动工业化,实现社会生产力的跨越式发展,将在一定程度上取决于数控机床的技术进步。它代表着装备工业的技术水平和现代化程度。而装备工业的技术水平和现代化程度决定着整个国民经济的水平和现代化程度,数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业、生物技术及其产业、航空航天等国防工业产业)的使能技术和重要装备。数控技术又是当今先进制造技术和装备最核心的技术。现在世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。此外,世界上各工业发达国家还将数控技术及数控装备列为国家的战略物资,不仅采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业,而且在“高、精、尖”数控关键技术和装备方面对我国实行封锁和限制政策。总之,大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

### 2. 我国数控机床的发展历程与成就

我国从 1958 年开始研究数控机床,一直到 20 世纪 60 年代中期还处于研制、开发时期。当时,一些高校和科研单位研制出的试验性样机,是从电子管数控系统起步的。1965 年开始研制晶体管数控系统。从 20 世纪 70 年代起,数控技术在车、铣、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,加工中心在上海、北京研制成功。但是,由于元器件的质量差和产品的制造工艺水平低等原因,数控系统的可靠性、稳定性未得到解决,未能广泛推广。在这一时期,数控线切割机由于结构简单、使用方便、价格低廉,在模具加工中得到推广。

直线控制、点位控制的数控车床、数控铣床和加工中心开始在生产中应用。20世纪80年代,我国从日本FANUC公司引进了3、5、6、7等系列的数控系统和直流伺服电动机、直流主轴伺服电动机等的制造技术,还引进了美国GE公司的MCI系统和交流伺服系统、德国SIEMENS公司的VS系列晶闸管调速装置,并进行了商品化生产。这些系统功能齐全、可靠性高,得到了推广应用,推动了我国数控机床的稳定发展,使我国的数控机床在性能和质量上产生了一个质的飞跃。在这期间,我国在引进、消化国外技术的基础上进行了大量的开发工作。我国数控机床的品种有了较大发展,品种不断增多,规格齐全。许多技术复杂的大型数控机床、重型数控机床都相继研制出来。为了跟踪国外现代制造技术的发展,北京机床研究所还研制出了JCS-FMS-1型和JCS-FMS-2型柔性制造单元和柔性制造系统。

改革开放近30年来,我国的数控机床产业取得了举世瞩目的成就。特别是“十五”期间,数控机床发展进入了快车道。国家有关部门的统计数字表明,“十五”是我国机床工具行业发展最快的五年。2004年,我国机床工具行业产品销售收入1 032亿元,大约是2000年507亿元的2倍,平均年增长约19%;2004年,全国金属切削机床产量为39万台,大约是2000年17万台的2.3倍,平均年增长约23%。机床工具行业的主导产品——数控机床的发展速度远高于机床工具全行业的平均发展速度。国产数控金属切削机床年产量从“九五”计划末期的几千台,增加到2001年的17 521台,2002年的24 803台,2003年的36 813台,2004年的51 861台,其中2004年的产量大约是2000年产量的3.7倍,平均年增长约39%。金属加工机床产值数控化率从2001年的26.2%提高到2004年的32.7%,形成了一批数控机床生产的主导企业,2004年数控机床年产量超千台的企业有14家,其产量合计占全行业数控机床总产量的50%以上,其中数控机床产量最高的一家企业年产量达6 000多台。连续几年来数控机床产量快速上升,也带动了出口,2004年全行业数控金属加工机床出口14 404台。数控机床的年产量已经突破原国家经贸委发布的到2005年全国数控机床产量达到25 000~30 000台的奋斗目标。数控机床的品种也从“九五”期间的128种发展到目前的1 500多种。国产数控机床产品大部分达到了国际20世纪90年代初期或中期水平,为国家重点建设提供了一批高水平的数控机床。

不仅如此,“十五”期间,我国在高端数控机床关键技术研究方面取得重大突破。目前,我国在普及型数控机床技术上已经成熟,还基本掌握了多(五)坐标联动的关键技术。这不仅打破了国外的技术封锁,而且使该技术进入实用性阶段。北京机电研究院为东方汽轮机厂开发的五轴联动加工中心,已在东方汽轮机厂实际应用,不仅完全满足了汽轮机叶片加工质量的要求,而且其加工效率可与进口机床的媲美,但其价格仅为进口机床的三分之一。复合加工技术的研究也取得很大成绩,我国研制成功的五轴联动车铣复合加工中心、五轴五面加工中心、双主轴车削中心等均已实现商品化。

我国高速加工技术的研究与应用取得重要进展。其中在直线电动机应用技术的研究

方面,基本掌握了负载变化扰动、热变形补偿、隔磁和防护等部分关键技术,填补了我国在直线电动机应用技术领域的空白,进一步缩短了与国外的差距。此外,我国还完成了10 000~18 000 r/min高速主轴单元的产品开发和加工制造工艺的研究,并在国产加工中心上应用。超精密加工(亚微米)技术和装备的研究也取得突破,北京机床研究所研制的超精密加工和纳米加工技术与装备已达到世界领先水平,打破了国外对我国的技术封锁。

目前,数控机床在我国国民经济的各行各业发挥着越来越重要的作用,数控机床已经成为企业技术改造的首选设备之一。我国已经成为数控机床的生产大国、消费大国和进口大国。国民经济各个行业需要大量数控机床的开发人才和应用人才。

### 3. 我国数控机床发展存在的问题与对策

当前,国外数控技术发展很快,呈现出高速度、高精度、高可靠性、多轴控制、工艺复合、集成化、智能化、网络化和环保化发展的态势。与国外数控技术的发展相比,我国数控技术的发展仍然存在着较大差距,主要体现在以下四个方面。

(1) 在技术水平上,国外对加工中心的研究已经转向高速、精密、多轴、复合、智能和环保等技术的研究。我国加工中心的总体技术水平与国外同类产品的先进水平相比大约落后10~15年,在“高、精、尖”技术方面则更大。

(2) 在产品结构上,高端市场(即高速、精密、多轴、复合加工中心市场)基本上被美国、日本和欧洲发达工业国家所垄断,国内开发的五轴联动数控机床、复合加工中心、高速加工中心等产品,虽然已经投入使用,但多数产品与商品化尚有一段距离,而且在技术水平和性能参数上与欧、美、日等地的产品还有较大差距。低端市场(即普及型数控机床市场)受到周边的日本、韩国和我国台湾地区产品的冲击较大,形成激烈竞争。多年来,国产数控机床产量小、进口产品量大的局面一直存在。

(3) 产品开发能力上,国内生产企业缺乏对产品竞争前数控技术的深入研究与开发,特别是对加工中心应用领域的拓展力度不强,集中体现在:产品开发能力较弱,对产品标准规范的研究、制定滞后,技术创新能力不强。导致开发出的产品技术先进性不明显,市场针对性不强,缺乏市场竞争力。

(4) 产业化水平上,市场占有率低,品种覆盖率小。从总体上看,加工中心还没有形成规模生产;功能部件专业化生产水平及配套能力较低;产品质量不高,主要体现在可靠性不高,商品化程度不足,关键功能部件没有自己配套的主渠道;数控系统的推广应用还不够等等。

这些问题已经引起了国家有关部门的高度重视,并正在采取措施加以改进。2006年6月,国务院发布了《关于加快振兴装备制造业的若干意见》(以下简称《意见》),装备制造业得到了国家前所未有的重视,《意见》将在三个方面重点支持我国数控机床的发展:一是国家政策支持数控机床产业化基地建设;二是加强功能部件的开发制造能力;三是提高高

档数控机床开发能力。《意见》同时指出我国“十一五”期间数控机床发展的主要任务有以下四点。

第一,加快开发高档数控机床品种,缩短与世界先进水平的差距,提升我国机床工具行业整体水平,对市场急需的高档数控机床品种,要集中力量,重点突破,加大科技投入,加强基础研究和开发研究,提高原始创新和集成创新能力,掌握一批高档数控关键产品开发的核

心技术,推出一批高档数控机床品种,满足重点用户急需,精心培育高档数控机床市场。

第二,积极促进功能部件产业化,培育一批功能部件的龙头企业,加大政策支持力度,重点发展高档数控系统、高速主轴单元、精密滚动功能部件、动力刀架、精密转台、高速导轨防护装置等高水平的功能部件,加快产业化进程,培育国产品牌,实现功能部件与数控机床同步发展。

第三,进一步发展普及型数控机床,我国普及型数控机床技术已经成熟,产业化迫在眉睫,急需进一步提高可靠性和质量,及时供应市场,提高产业集中度,实现稳定、可靠、快速地满足市场,以提高制造能力和生产集中度为重点,支持骨干企业快速发展。

第四,努力提高国产数控机床市场占有率,是“十一五”期间行业发展的重中之重,要从质量、可靠性、服务等方面入手,创品牌、扩市场、挡进口、争出口,争取在五年内使国产数控机床国内市场占有率有较大提高。

《意见》切中了我国数控机床发展中的关键问题,为发展国产数控机床提供了良好的政策环境。毫无疑问,随着《意见》的贯彻实施,多年来困扰我国机床工具行业发展的数控机床产业化和自主开发能力偏低的问题,将得到一定程度的解决,国产数控机床在国内市场占有率长期不高的局面将被扭转。高等学校作为国家各类人才的培养基地,为装备制造行业培养急需的数控机床开发与应用人才,是义不容辞的责任。

## 1.2 数控技术课程设计的主要研究对象

1952年,世界上第一台数控机床由美国麻省理工学院与美国帕森斯公司合作开发并研究成功,人类第一次实现了用数字化信息对机床运动轨迹的控制。半个多世纪以来,数控技术伴随着数控机床的产生而产生,又随着电子技术和计算机技术的飞速发展而进步,这大大促进了数控机床的发展,使数控机床在现代工业中发挥着越来越重要的作用。数控技术的快速发展,又赋予它更深刻的含义。今天的数控技术已经是关于机床刀具相对工件运动的轨迹控制技术(轨迹控制),是关于机床各坐标轴的伺服驱动技术,是关于各种开关量的控制技术(顺序控制),是关于将上述各项技术统一协调的控制技术,是关于精密机械制造的技术,是关于数控编程的技术。归根到底,数控技术是完成两类控制,即轨迹控制和顺序控制的技术。

“数控技术课程设计”课程作为“数控技术”课程的实践课程,其主要的研究对象应该有两个:一个是关于轨迹控制装置的设计,另一个是关于顺序控制装置的设计。前者是关于数控机床执行部件(坐标轴)的设计,后者是关于主轴装置、各种辅助装置(如自动交换刀具装置、冷却装置、润滑装置、液压装置等装置)及其动作顺序的设计。由于数控机床的各个组成部件都是典型的机电一体化装置,因此,可以说“数控技术课程设计”课程是以各种机电一体化装置设计为主要研究对象的课程。

## 1.3 数控技术课程设计的主要目的与内容

### 1.3.1 主要目的

目前,我国工科院校基本上都开设了“数控技术”课程。学生在课堂上学习了数控技术的基本内容后,对数控机床的基本原理、基本结构和有关知识有了基本了解。如何把学生在课堂上学到的这些知识加以巩固和应用,做到理论联系实际,是数控技术课程设计重点训练的内容。因此,本书紧密结合生产实际,根据当今数控机床产品的技术特点,以我国企业当前的产品作为实例,把数控技术的工程应用和数控机床产品开发的基本思路和步骤作为教材的主线,培养学生的实际应用和创新能力,并努力达到以下目的。

#### 1. 加强数控机床结构设计的模块化训练

任何一类数控机床都是由若干基础件、标准件、功能部件和数控系统组成的。尽管在同一类数控机床中有规格大小和立式卧式之分,但大体上功能部件都是相似的。目前国内外生产企业为了便于发展同系列的和跨系列的变形品种以及满足市场需要,采取的数控机床开发技术路线大多是模块化的主机设计配标准化的数控系统。这种技术路线与普通机床设计方法有本质的区别。通过实施数控机床结构设计的模块化训练,可以进一步理解数控机床的工作原理、组成部分和机床整机布局形式,帮助学生建立数控机床的整体概念和各功能模块在数控机床中的作用。

#### 2. 加强数控机床功能部件的选型与设计计算的训练

随着科学技术的发展和进步,现代机床技术呈现出单元化的发展趋势。比如:进给伺服系统中的传动件广泛采用滚珠丝杠螺母副、滚动直线导轨、贴塑导轨、大接触角角接触轴承、同步带、伺服装置等。现代数控机床与其说是宏观上的机械、电子、计算机等技术的集成与创新,不如说是微观上的各种功能部件、数控系统的集成与创新。能否正确选用这些功能部件与整台数控机床的设计是否成功有很大关系。而这些功能部件的选择又与力学分析和大量的工程计算分不开。通过实施数控机床功能部件的选型与设计计算的训练,可以有效促进理论联系实际,巩固在课堂上学到的知识并加以应用,必将取得事半功

倍的效果。

### 3. 加强数控机床的整机设计中应该把握的主要问题的训练

现代数控机床的整机设计包括整机布局形式,导轨形式的选择及支承件的结构设计,滚珠丝杠螺母副及其支承方式的选择,主传动系统的选择及其设计,还有数控系统与其他辅助装置的选择与设计等等。整机设计涉及的内容较广,但主要的关键问题只有以下几项:①在给定条件下采用什么样的整机布局形式来保证机床具有足够的整机刚度(包括各移动部件的轴向刚度),使机床具有较好的动态特性,以获得较高的精度;②机床采用什么样的导轨形式来尽量减小阻尼,使机床移动部件的导轨摩擦力尽量小,在获得机床移动部件具有较高灵敏度的同时也提高坐标轴的定位精度;③机床设计时采用什么样的结构形式,包括功能部件和数控系统的选择,来保证机床在工作时具有较高的可靠性;④采用什么样的技术措施来使机床具有较高的技术指标,如定位精度、重复定位精度、主轴转速、机床移动部件的快速移动速度等等。通过对学生实施数控机床的整机设计中应该把握的主要问题的训练,可以使学生在课程设计中体会数控机床具有较高的加工精度和效率的原因,同时也体会到 CNC 装置的最小设定单位,数控机床是怎样在设计中体现的,以培养学生的整机或部件的设计能力。

## 1.3.2 主要内容

### 1. 选材原因

之所以选择数控机床进给传动系统的设计为课程设计的主要内容,是因为数控机床进给传动系统是 CNC 装置实现轨迹控制的执行部件,涵盖了在给定的设计条件下如何来确定机床进给传动系统的总体方案,在具体方案设计中,又涉及了导轨形式的选择,滚珠丝杠螺母副及其支承方式的选择,伺服系统与驱动电动机的选择和驱动电动机与滚珠丝杠连接形式的选择等等。上述每一项选择都有具体的原则。具体方案确定后,为了保证机床坐标轴的定位精度和各功能部件工作的可靠性,必须进行机械传动系统的轴向刚度计算、误差分析和动态特性分析。在此基础上还要对各传动部件进行必要的稳定性校核计算和电动机的选型计算,既具有一定的结构设计要求,又具有较强的理论性,比较全面地反映了数控技术在轨迹控制方面的基本内容,非常典型。所以,将数控机床进给传动系统的设计作为课程设计的主要内容,可以比较系统地培养学生的理论联系实际的能力与数控技术工程应用的能力。

### 2. 主要内容

本书的主要内容包括以下两个方面。

(1) 进给传动系统设计,包括:进给传动系统的轴向负载计算,导轨的设计与选型,滚珠丝杠螺母副的选型与计算,进给传动系统的刚度计算,进给传动系统的误差分析,驱动电动机的选型与计算,进给传动系统的动态特性分析,驱动电动机与滚珠丝杠的

连接。

(2) 控制系统设计,包括:控制系统硬件的基本组成,控制系统软件的组成及结构,计算机伺服控制系统和 PLC 控制系统。

## 1.4 本书的特点与使用建议

### 1.4.1 本书的特点

#### 1. 系统性

针对数控机床进给传动系统的技术特点,按照我国机床行业数控机床设计的步骤,比较系统地归纳了数控机床进给传动系统设计的有关技术,并在章节的编排顺序上得到了体现,使学生能系统掌握数控技术在机床进给传动系统设计应用中的各个知识点。

#### 2. 实战性

本书的内容主要选自当前我国机床企业现行产品的技术,所有技术标准、技术参数和功能部件的型号都是近年来被我国机床企业最新采用的。特别是本书专门用一章列举了三个数控机床进给传动系统设计实例,详细介绍了其设计思路、有关功能部件选型的计算方法以及计算过程,具有较强的实战性和示范性。通过本书的使用,不仅可以使学生掌握数控机床进给传动系统的设计方法,而且还可以了解我国机床企业现行的数控机床设计的技术状况,起到就业前了解企业、熟悉企业产品设计的基本思路和方法的作用,使大学生就业更具有技术上的针对性,以满足用人单位的人才需求。

#### 3. 新颖性

本书在内容整合上,充分体现了数控机床进给传动系统的设计思路,即以满足坐标轴定位精度要求为目的,从计算滚珠丝杠的轴向载荷出发,通过计算滚珠丝杠的轴向变形、扭转变形和反向死区的存在对定位精度的影响,分析机械传动系统的动态特性和系统产生的定位误差是否在允差范围内为最终目标,将以往分散在多种教材或技术手册中的内容整合到本书中,并按与数控机床进给传动系统设计步骤相对应的知识体系编排,更加凸现了该知识体系对数控机床进给传动系统部件设计的针对性,使学生在使用中基本不出本书就可以查阅到设计所需要的计算公式和技术数据,使用方便。

#### 4. 适用性

因为“数控技术课程设计”课程是“数控技术”课程的后续课程,所以本书在编排中,注意到了教学内容的连续性,在不影响本书知识体系的前提下,尽量精简重复的内容,做到内容全面而精练。本书不仅可以作为在校大学生“数控技术课程设计”的专用教材,也可以作为企业从事数控机床设计或普通机床数控化改造的工程技术人员参考书。



## 1.4.2 本书的使用与建议

### 1. 设计步骤与工作重点

根据数控机床进给传动系统的技术特点,可以将其设计步骤分为以下四个阶段。

第一阶段为总体方案设计阶段,其主要任务是:明确本设计的主要内容和工作目标,即根据给定的技术要求,初步拟定设计方案,计算滚珠丝杠螺母副的轴向负载,确定导轨的形式,初步估算滚珠丝杠螺母副的直径与支承方式。有条件的院校也可以将控制系统的设计方案列在其中。

第二阶段为工作图设计阶段,其主要任务是:根据所确定的导轨形式、滚珠丝杠螺母副的直径与支承方式,绘制装配图,并绘制滚珠丝杠螺母副的零件图。

第三阶段为设计校核阶段,其主要任务是:根据所绘制的装配图校核滚珠丝杠的临界压缩载荷、临界转速和寿命,以及机械传动系统的综合拉压刚度和滚珠丝杠的扭转刚度,并对机械传动系统的动态特性和定位精度误差进行分析,计算机械传动系统的负载力矩和加速力矩,选择驱动电动机的型号并进行惯量匹配计算,然后修改有关设计。

第四阶段为设计总结阶段,其主要任务是:将以上设计计算汇总,编制《设计计算书》;根据装配图,将所设计的数控机床进给传动系统的工作原理编制成《设计说明书》并将所设计图纸装订成册,同时准备答辩提纲,完成答辩。

### 2. 重点考核内容

- (1) 滚珠丝杠螺母副的轴向负载主要由哪几部分组成?
- (2) 为什么要对滚珠丝杠螺母副进行预紧? 有几种预紧方法? 各种预紧方法怎样实现?
- (3) 滚珠丝杠螺母副的支承方式有几种? 常采用哪些轴承作为滚珠丝杠螺母副的支承?
- (4) 在数控机床进给传动系统设计中,怎样保证滚珠丝杠螺母的螺母座与丝杠两端的支承同心? 为什么要同心?
- (5) 滚珠丝杠所受的轴向负载是怎样通过支承件传到床身上的?
- (6) 滚珠丝杠采用角接触轴承作为支承时,如何预紧? 预紧力怎样计算?
- (7) 选择伺服电动机的原则是什么?
- (8) 机械传动系统的启动力矩由哪几部分组成?
- (9) 如何进行惯量匹配?
- (10) 贴塑导轨应贴在什么部位? 是怎样粘贴的?
- (11) 设计和装配时,如何保证滚珠丝杠在水平面内和垂直面内与机床导轨的平行度?
- (12) 在什么情况下需要对滚珠丝杠进行预拉伸? 怎样进行预拉伸?