

# 机械设计手册



闻邦椿 主编

MACHINE DESIGN HANDBOOK

5



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 机 械 设 计 手 册

## 第 5 版

主 编 闻邦椿

副主编 张义民 鄂中凯 陈良玉 孙志礼  
宋锦春 柳洪义 汪 恺

## 第 5 卷 机电一体化与控制技术

本卷主编 柳洪义 刘 杰



机 械 工 业 出 版 社

本书是在前4版的基础上,吸收并总结了国内外机械工程设计领域中的新标准、新材料、新工艺、新结构、新技术、新产品、新设计理论与方法撰写而成。本书全面系统地介绍了常规设计、机电一体化与控制技术和现代设计方法及其应用等内容。具有内容先进,信息量大、取材广、规格全,实用性强,数据可靠,使用方便等特点。

全书分6卷52篇,内容有:常用设计资料、机械零部件设计(连接、紧固与传动)、机械零部件设计(轴系、支承与其他)、流体传动与控制、机电一体化与控制技术、现代设计理论与方法等。

本卷为第5卷,主要内容有:机电一体化技术及设计、机电系统控制、工业机器人技术、数控技术、微机电系统及设计、机械状态监测与故障诊断技术、激光及其在机械工程中的应用、电动机、电器与常用传感器等。

本书供从事机械设计、制造、维修及有关工程技术人员作为工具书使用,也可供大专院校的有关专业师生使用和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计手册. 第5卷/闻邦椿主编. —5版. —北京:机械工业出版社, 2010.1(2013.9重印)  
ISBN 978-7-111-29229-6

I. 机… II. 闻… III. 机械设计-技术手册 IV. TH122-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第221410号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:曲彩云 责任编辑:庞 晖  
封面设计:姚 毅 责任校对:张 媛 责任印制:杨 曦  
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷  
2013年9月第5版第6次印刷  
184mm×260mm·67印张·3插页·2327千字  
21001—25000册  
标准书号:ISBN 978-7-111-29229-6  
定价:120.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

编辑热线:(010)88379782

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

## 第5版前言

人类社会正迈入知识经济时代，以知识为依托的科学技术在当今社会发展过程中正在发挥着越来越重要的作用。科学技术成果的研究与开发及其广泛应用是当今、也是未来推动经济发展和社会进步的至关重要的因素。依靠科技进步振兴装备制造业是使我国由制造大国过渡到制造强国的核心因素和关键。

发展装备制造业离不开产品的研究与开发及设计。机械产品设计正由传统设计模式向现代设计模式转变，现代设计的特点是广泛采用计算机技术，着力应用智能化设计、数字化设计、网络化设计、绿色化设计及系统化设计的综合技术。《机械设计手册》的编辑与出版，充分地展现了现代设计的特点，是现代设计不可缺少的工具和手段。

本版手册在科学发展观和自主创新设计的理念引领下，进行了较大篇幅的修改和补充，为我国现代机械产品自主创新设计提供了保障。例如，在手册中重点介绍了产品绿色设计、和谐设计与系统化设计，也介绍了产品的创新设计等内容，这有利于产品设计师们采用手册中介绍的内容和方法开展产品开发。

本版手册汇总了大量的原始数据和设计资料，以及在设计时必须采用的技术标准，同时还介绍了设计中许多不可缺少的相关设计知识。因此，可以说手册是设计师们在产品设计过程中所必需的数据库和知识库，目前它已成为产品研究与开发的“利器”，是任何设计器具无法取代的重要的设计工具，不仅在现在，而且在将来也会发挥其积极的作用。

本版手册系统地叙述了机械设计各专业的主要技术内容，归纳和总结了新中国成立以来我国机械领域取得的成就和经验，不少新内容是本手册编者研究得到的，此外，还吸取了国外的若干先进科学技术，其内容丰富，实用性强。手册前4版出版后，受到了社会各界的重视和好评，作为国家级重点科技图书和机械工程方面的最具权威的大型工具书，曾获得全国优秀图书二等奖、机电部科技进步二等奖、全国优秀科技畅销书奖，1994曾在台湾建宏出版社出版发行，在机械产品设计中起着十分重要的作用，目前已成为各行业，尤其是机械行业各技术部门必备的工具书。

在本版手册的修订过程中，我们努力贯彻了“科学性、先进性、实用性、可靠性”的指导思想，广泛调研了厂矿企业、设计院、科研院所、高等院校等多方面的使用情况和意见。对机械设计的基础内容、经典内容和传统内容，从取材、产品及其零部件的设计方法与计算流程、设计实例等多方面进行了深入系统的整合，同时，还全面总结了当前国内外机械设计的新理论、新方法、新材料、新工艺、新结构、新产品、新技术，特别是在产品的综合设计理论与方法、机电一体化及机械系统自动控制技术等方面作了系统和全面的论述和凝炼。相信会以崭新的面貌展现在广大读者面前的本版手册，会对提高我国机械产品的设计水平，推进新产品的研究与开发、老产品的改造，以及产品的引进、消化、吸收和再创新，进而促进我国由制造大国向制造强国转变，发挥其积极的作用。

本版手册分6卷52篇。第1卷：常用设计资料；第2卷：机械零部件设计（连接、紧固与传动）；第3卷：机械零部件设计（轴系、支承与其他）；第4卷：流体传动与控制；第5卷：

机电一体化与控制技术；第6卷：现代设计理论与方法。在本版手册的撰写过程中，努力贯彻和采用最新技术标准和国际新标准，最大限度地充实和更新技术内容，凝炼和总结机械设计的最新成就和经验，尽力地吸取国外的先进科学技术，努力反映当代机械设计的最新水平，更好地为现代机械设计服务；在本版手册的取材和选材过程中，尽量压缩对基本原理的介绍，避免在手册中出现教科书的叙述方式，特别强调要采用手册化、表格化的设计流程，删除一些可要可不要的内容，以及应用面相对较窄和尚未用于实际的研究性内容，力求使各篇章内容构成有机的整体，既考虑了各篇的系统性，又照顾了全书的统一性，尽量避免不必要的重复；在本版手册的各类零部件设计计算中，增加结构图和应用实例；在本版手册的部件设计选用中，提供了可选用的产品的结构及其安装尺寸、主要技术参数等，给设计和选用创造方便的条件；本版手册的所有计算方法和数据都努力做到准确、可靠、无误，重要的内容注明来源，对相近标准的数据和表格尽量予以合并、采用双栏排版、摘其所要等形式予以编写，以较少的篇幅编入较多的内容。

手册的第5版是在前4版的基础上，着力在以下几个方面作了修订：

### 一、在贯彻落实推广标准化技术方面

手册全部内容贯彻和采用了2010年1月以前颁发的最新国家标准、行业标准和相关的国际新标准，最大限度地充实和更新标准化技术的内容。本次修订为历次修订中标准更新规模最大的一次，例如：机械工程材料部分更新的标准达162个，流体传动与控制部分更新的标准有150多个。更换的标准中有许多是机械行业的重要标准，如GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第1部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》、GB/T 10095.1~10095.2—2008《圆柱齿轮精度制》，GB/Z 18620.1~18620.4—2008《圆柱齿轮检验实施规范》等。

### 二、在新的设计计算方法方面

按照GB/T 3480—1997《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》、GB/T 10062.1~10062.3—2003《锥齿轮承载能力计算方法》重新构建了实用、合理的齿轮设计体系。对圆柱齿轮和锥齿轮均按照初步确定尺寸的简化计算、简化疲劳强度校核计算和一般疲劳强度校核计算编排设计计算方法，以满足不同场合不同要求的齿轮设计需求。增加了齿轮齿廓修形和齿顶修缘的内容，给出了修形计算公式和确定修形量的方法。

在滚动螺旋传动中，按最新的国家标准GB/T 17587.4、17587.5—2008《滚珠丝杠副 第4部分：轴向静刚度》、《滚珠丝杠副 第5部分：轴向额定静载荷与动载荷及使用寿命》，整理更新了滚珠丝杠传动选用和评估计算方法。

根据机构学的最新发展，考虑到近年来并联机器人和并联机床的快速发展和应用，特地另辟一章，编入了并联机器人和并联机床的运动学和动力学分析、典型并联机器人和并联机床的类型和应用选型，这是在大型工具书中首次载入；增加了机构系统方案的构思与拟定并例举了典型实例，对机构设计与选用起到综合和运用的作用。

### 三、在新材料、新元器件、新产品等方面

在新材料方面，编入了新型工程材料——钛及钛合金，该种材料具有低密度、高熔点、高比强度、耐腐蚀性好、高低温特性好、生物相容性好、具有形状记忆特性等优点，在航空航天、海洋开发、化工、冶金、生物技术、汽车工程、食品、轻工等工业技术领域的装备制造中

有重要用途；编入了有“21世纪绿色材料”之称的镁及镁合金，该种材料在轻量性、比强度、导热性、减振性、储能性、切削性、尺寸稳定性以及可回收性等方面具有独特的优点；编入了GB/T 20878—2007《不锈钢和耐热钢牌号及化学成分》，该标准是一个全新标准，它规定了143个牌号的化学成分及部分牌号的物理性能参数与国内外标准牌号的对照，在各种手册中未见编入。

在新元件、新产品方面，在减速器和变速器篇中，增加了平面二次包络环面蜗杆减速器(GB/T 16444—2008)、新型的锥盘环盘式无级变速器、XZW型行星锥轮无级变速器，首次编入了用于高档轿车的新型金属带式无级变速器，以及其他相关的设计资料。

《流体传动与控制》卷在内容和产品方面作了大幅度的更新，编入了液压气动领域中的最新开发的各类元器件，为流体传动与控制系统的的设计、运行和维护提供全面的技术支撑；为满足不同层次用户的需要，分别引入了国内主流品牌（含台湾知名品牌HP）以及国际知名品牌的产品，如液压传动中的德国（Rexroth）、美国（Vickers）、日本（Yuken）、意大利（Atos）等品牌产品，液压控制系统中的德国（Festo）、美国（Moog、Vickers）、英国（Dowty）等品牌产品，气压传动中的德国（Festo）、日本（SMC）等品牌产品；编入了最新出现的具有广泛应用前景的液压元件——螺纹插装阀系列产品；增加了伺服液压缸等相关新产品，大幅度增加了最新出现的适应性强的各类液压辅件；增加了以气流引射原理制造的真空发生器等气动系统常用的真空元器件。

#### 四、在机电一体化设计与控制技术方面

机械技术与电子技术相结合已经成为当前装备制造业的主流和发展趋势，机电一体化是现代机械和技术的重要典型特征之一。为适应机电一体化技术的应用，本版手册对该方面的内容作了重新编排和大量充实，专辟一卷为机电一体化及控制技术等内容进行较系统和全面的叙述。

在机电一体化技术及设计篇中，以典型机电一体化产品的五大组成部分的技术要点作主线进行编写，以产品设计为背景组织内容，并编入了多个综合性设计实例。

机器人是机电一体化特征最为显著的现代机械系统，从实用性的角度介绍了工业机器人技术中的本体、驱动、控制、传感等共性技术，结合喷涂、搬运、电焊、冲压、压铸等工艺，介绍了机器人的典型应用。另外对视觉机器人、智能机器人等作了实用性的介绍。

微机电系统（MEMS）是20世纪80年代中后期出现的微电子技术机械技术与生物、物理、化学等学科相交叉的一种新技术，它不仅是机械学科发展的前沿方向之一，也逐渐形成了产业。顺应高新技术发展潮流，设专篇撰写微机电系统，这在大型工具书中尚属首次。本篇重点编入了MEMS制造技术和设计技术。

激光加工目前已经成为一种有效的重要先进制造技术。手册以激光加工技术的最新成果为素材，编写了各种激光加工的原理、工艺及其应用，其中包括在打孔、切割、焊接、淬火、熔覆与合金化中的应用和激光加工中的安全防护等。

同时，对机电系统控制、数控技术、机械状态监测与故障诊断技术和电动机、电器与常用传感器等内容，简化原理、突出应用、扩充实例、引用最新成果作了编写。

#### 五、在凝炼和推广现代设计理论与方法方面

针对现代机械产品设计的新方法和新技术存在的多样性和复杂性问题，本版手册以现代机

械产品设计的总目标和建立其设计方法新体系为主旨,从先进性、系统性和实用性的角度,对产品的设计理论与方法作了系统总结和介绍。本版手册按新的分类共编入了21种现代设计方法,可以说是集现代设计方法之大全。

在“现代设计理论与方法综述”篇中,介绍了机械及机械制造技术发展总趋势,国际上有影响的主要设计理论与方法,产品研究和开发的一般过程和关键问题,现代设计理论的发展和根据不同的设计目标对设计理论与方法的选用。首次采用系统工程的方法对产品设计理论与方法做了分类,弥补了目前对产品设计理论与方法的叙述缺乏系统性的不足。

创新设计是现代机电产品提高竞争力的重要技术和方法。“创新设计”篇在概要介绍创新设计的基本理论、创新思维、创新技法的基础上,基于国际上著名的发明问题解决理论(TRIZ)就情景分析、理想设计、创新设计中的技术进化和技术预测、冲突以及冲突解决原理、物质-场模型方法等介绍了创新设计的系统化方法。介绍了29种创新思维方法、30种创新技术、40条发明创造原理,并通过大量应用实例开拓创新设计思路。

绿色设计是实现低资源消耗、低环境影响、低碳经济的重要手段。“绿色设计与和谐设计”篇系统地论述绿色设计的概念、理论、方法及其关键技术。结合编者多年的研究实践,并参考了大量的国内外文献及其最新研究成果,通过介绍绿色设计的概念、材料选择、拆卸回收产品设计、包装设计、节能设计和绿色设计体系及评价方法,对绿色设计进行系统、简明的论述,并给出了绿色设计在上述几个方面的典型案例。这是在工具书中首次全面和系统地论述绿色设计,为推动工程绿色设计的普遍实施具有指引作用。

本版手册对机械系统的振动设计及噪声控制、机械结构有限元设计、疲劳强度设计、可靠性设计、优化设计、计算机辅助设计等比较成熟的现代设计方法和技术,本着简明化、实用化的原则,做了全面修订和充实,吸收了最新研究成果,增加了系列应用实例。例如,“机械系统的振动设计及噪声控制”篇中,增加了非线性系统中的等效线性化和多尺度法;“机械可靠性设计”篇编入了机构运动可靠性设计理论和方法、可靠性灵敏度分析方法等最新成果;在“优化设计篇”中,增加了模糊优化设计等新内容。

另外,对机械系统概念设计、虚拟设计、智能设计、并行设计与协同设计、反求设计、快速反应设计、公理设计和质量功能展开(QFD)设计、和谐设计等设计领域的前沿方法分别作了实用化介绍,以进一步拓展设计思路。

在本版手册最后一篇,系统介绍了现代机电产品的综合设计方法。该方法是一种基于系统工程的产品深层次的综合设计理论和方法。它以产品功能设计、性能设计和产品质量检验和评估为基本目标,将产品设计过程分为准备阶段、规划阶段、实施阶段和设计质量检验阶段等四个阶段,以准备阶段的3I调研、规划阶段的7D规划、实施阶段的深层次1+3+X综合设计和设计质量检验阶段的3A检验为基本要点,构成综合设计法的完整技术体系。本版手册首次对该设计法作了系统论述,并给出了大型综合应用实例。

在本版手册编写中,为便于协调,提高质量,加快编写进度,编审人员以东北大学的教师为主,并组织邀请清华大学、上海交通大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、天津大学、华中科技大学、西安交通大学、大连理工大学、东南大学、同济大学、重庆大学、上海大学、合肥工业大学、大连交通大学、苏州大学、西安建筑科技大学、沈阳工业大学、沈阳理工大学、重庆理工大学、机械科学研究总院、中国科学院沈阳自动化研究所、中国科学院长春精密机械及物

理研究所、合肥通用机械研究院、沈阳液压件制造有限公司、天津工程机械研究所等单位的专家、学者参加。

在本手册第5版出版之际，谨向著名机械学家、本手册创始人、历次版本的主编徐灏教授致以崇高的敬意，向历次版本副主编邱宣怀教授、蔡春源教授、严隽琪教授、林忠钦教授、余俊教授、汪恺总工程师、周士昌教授表示崇高的敬意，向参加本手册历次版本的编写单位和人员表示衷心感谢，向在手册编写、出版过程中给予大力支持的单位和社会各界朋友们表示衷心感谢，特别感谢机械科学研究总院、郑州机械研究所、沈阳铝镁设计研究院、北方重工集团沈阳重型机械集团有限责任公司和沈阳矿山机械集团有限责任公司、沈阳机床集团有限责任公司、沈阳鼓风机集团有限责任公司及国家标准馆沈阳分馆等单位的大力支持。

由于水平有限，手册难免有一些不尽人意之处，殷切希望广大读者批评指正。

主编 闻邦椿

## 第4版前言

《机械设计手册》自出版以来，在机械设计实践中发挥了重要的基础性作用，先后荣获全国优秀科技图书二等奖、机械电子工业部科技进步二等奖，是全国优秀科技畅销书，在社会上有较高的知名度，影响广泛，深得广大工程技术人员的厚爱。

机械设计是机械工业的基础技术。科技成果要转化为有竞争力的新产品，设计起着关键性作用。设计工作的质量和水平，直接关系到产品质量、性能和技术经济效益。特别是在产品创新和创造方面，工业发达国家都极为重视机械设计工作，不断地研制出适应市场需要的机电产品。近几年来，由于科学技术不断发展，加之我国加入世贸组织以后国际技术交流更直接、便捷，使我国在机械设计领域有了长足的进步，取得了丰硕的成果，发现了许多新材料、新的设计理念和设计方法，这些都需要我们及时归纳总结，全面准确地提供给广大读者。为使《机械设计手册》紧跟时代步伐，满足广大读者需要，我们组织了这次《机械设计手册》的新版修订工作。

这次修订，根据广大工程技术人员实际需要和阅读习惯，在保持手册先进性、系统性的前提下，我们调整了卷、篇、章的框架结构，重新编排，并补充了机械设计应用方面的内容。更加突出实用便查，让技术人员感到既有很多成熟使用的现代设计方法，又能更方便、快捷地查到所需内容。

这次修订取材仍根据基本、常用、关键、发展的原则，强调准确性。我们认真细致地对各种数据、图表等进行分析、核对和验证，对一些局部性的技术经验和测试结果，为了做到准确、可靠，作者亲自南下北上，取得第一手试验数据资料，以确定选取范围，做到了精益求精。对国外资料，以常用和新材料为主，主要从选用角度编写，重点介绍材料的技术参数、性能特点、适用范围和应用技术等，为如何正确选择和合理使用提供依据，以发挥其最佳性能和经济效果，这些都是作者经过长期生产实践积累的宝贵资料。本书数据、资料全部来自国家最新标准、规范和其他权威机构，设计方法、公式选择、参数选取原则均经过长期实践检验，典型结构设计、计算实例均来自工程实践。为了突出反映先进性，增加了许多适合我国国情的新材料、新方法、新技术、新工艺，广泛收集具有先进水平的新产品。

重点修订内容：

### (1) 更换补充新标准

书中所涉及的标准均采用现行国际、国家及行业最新标准，这对提高我国机械设计标准化水平，促进机械产品走向世界都将起到促进作用。同时，对一些新旧标准过渡有难点的内容做了详细指导，如渐开线圆柱齿轮部分引入最新国家标准 GB/T 10095.1~2—2001 渐开线圆柱齿轮精度和 GB/Z 18620.1~4—2002 圆柱齿轮检验实施规范；考虑到新旧标准应用的过渡期，保留了渐开线圆柱齿轮精度标准 GB/T 100095—1988 的相关内容，给出了新旧标准精度对照表及旧标准向新标准的转化方法，同时给出了新旧标准标注的齿轮工作图示例，以方便读者使用。

锥齿轮强度计算采用最新颁布的国家标准 GB/T 10062.1~3—2003，为便于采用新标准，

增加了强度计算用到的锥齿轮的端面当量齿轮和法面当量齿轮参数计算公式,给出了用新标准计算的两个锥齿轮传动设计算例。把现有国内资料中关于锥齿轮几何设计中的“参考点”改为“基准点”,以忠实原意。

在轴承中增加了2004年6月发布的滚动轴承代号方法的补充规定,以作为轴承标准的补充内容。

#### (2) 增加新材料、新结构

由于新材料、新结构不断出现,故在这次修订中,均适当纳入新内容,更换老内容,使手册更新、更适用。

如由于工程塑料和复合材料的力学性能有了很大的提高,又具有价廉、防腐、防锈蚀等一系列优点,故其应用发展很快,我们加强了这方面的介绍,书中还大量增加了新的结构类型和应用实例。

在轴承部分增加了带座外球面轴承、专用轴承、直线运动滚动支撑、关节轴承,以及国外轴承、钢球、钢种、润滑油等的代号和国内外对照表。

#### (3) 介绍新产品,删掉淘汰产品

机械设计中经常选用的一些基础产品发生了很大的变化,现在产品的分类、代号方法、设计计算等内容完全与国际接轨,与老产品相比完全不同。对于这些内容,我们必须加以修正,以适应我国机械产品进入国际市场的需要。因而,我们删掉了部分淘汰产品内容,并将国内主要厂家新开发推出的具有较大影响的新产品进行了补充,并适当增加了国内选用较多的国外产品,如为适应目前国内市场上进口液压、液力、气动元器件所占份额逐渐增大的现状,特增加了大篇幅的内容,主要推出世界著名的几大品牌应用较广泛的产品,以满足专业技术人员的需要。

近年来我国出现的新的减速器或形成了新标准的减速器,都在不断地向国外的新技术看齐,也收入本手册中供大家参考。此外,还及时引入了国外的产品,如SEW和PIV的产品,一则是为了向国际靠拢(接轨),二则是让设计人员方便选用国外知名公司的适用产品。

#### (4) 增加了反映现代科技的新内容

在“机械振动的控制”一章内,不仅填补了对冲击、对随机振动的隔离等国内外空白内容,还重点增加了利用振动信号的测量、分析、反馈及跟踪等先进技术,进行最优控制、自适应控制、预测控制、模糊控制等振动的主动控制的新内容。增加了“振动的利用”一章,使读者不仅能查到对有害振动进行控制的内容,还能查到振动的有益内容,包括振动利用的方法、步骤、设计与计算,利用振动原理工作的各类机械。

为适应现代机械设计的要求,增加了“模态分析与参数识别”一章。在机械设计中应用此章的内容,能对机械给定的动力特性,识别出机械应有的物理参数,或者已知机械的物理参数,识别出其动力特性。还能识别出很难准确计算和直接测量的机械动载荷,更能在机械运行时“在线”识别其动态特性。这些都将提高机械动态优化设计的功能与效率。

#### (5) 充实增加了现代设计方法的应用技术

近年来,机械设计的理论和方法在国内外取得了很大的发展,我国设计人员要在产品设计方面赶超国际水平,必须掌握先进的设计理论和方法。由于机械设计涉及面广,即使是经验丰富的设计师,也难以及时、全面地掌握这些理论与方法,所以本书重点介绍了当今发达工业国

家流行的成熟的设计理论与方法，增强广大工程技术人员创新意识和能力。如通过对有限元设计、创新设计、虚拟设计、优化设计、并行设计、智能设计、机电一体化设计及其相应工具软件等内容的详细阐述，使得工程技术人员在日常设计工作中融入现代设计的理论与方法，并注重相应流行软件的应用，达到提高设计水平和设计效率的目的。如有限元设计部分，详细介绍将“有限元设计”如何应用于实际设计工作之中，以适应国际流行的针对重大机电产品（包括新产品）研发及销售过程中需配备有限元分析软件的需要。又如为加强环保，进行绿色设计，生产绿色产品，在世界各国均受到普遍欢迎，工业发达国家更是十分重视环保这方面的工作，所以本手册也介绍了如何实施机电产品的绿色设计。所有这些内容，都是现代设计工作者必不可少的最新的必备知识，而其他同类工具书却极少涉及这些内容。

可靠性、优化、疲劳强度、摩擦学等理论的新发展，可以为机械设计人员提供当代的先进资料，其中有些是最新的研究成果。设计人员可以较方便地找到自己需要的方法或解决问题的线索，并为进一步深入开展工作打下良好的基础。

本书作者都是具有丰富的设计知识和技能，具有出色的机械设计实践和研究经验的本学科知名学者和机械设计专家，他们统观全局、采实撷精、为本书修订奠定了可靠的保证。

机械设计手册编委会

# 目 录

## 第 25 篇 机电一体化技术及设计

### 第 1 章 机电一体化概述

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 1 机电一体化概念 .....             | 25-3  |
| 1.1 机电一体化的基本概念 .....        | 25-3  |
| 1.2 机电一体化技术的发展 .....        | 25-3  |
| 1.3 机电一体化系统的构成 .....        | 25-4  |
| 1.4 机电一体化的意义 .....          | 25-5  |
| 2 机电一体化技术的分类 .....          | 25-6  |
| 2.1 机电一体化技术的分类依据 .....      | 25-6  |
| 2.2 机械制造过程的机电一体化 .....      | 25-6  |
| 2.3 机电产品的机电一体化 .....        | 25-7  |
| 3 机电一体化的相关技术 .....          | 25-7  |
| 4 机电一体化设计方法 .....           | 25-8  |
| 4.1 模块化设计方法 .....           | 25-9  |
| 4.2 柔性化设计方法 .....           | 25-9  |
| 4.3 取代设计方法 .....            | 25-9  |
| 4.4 融合设计方法 .....            | 25-9  |
| 4.5 优化设计方法 .....            | 25-10 |
| 4.5.1 机械技术和电子技术的综合与优化 ..... | 25-10 |
| 4.5.2 硬件和软件的交叉与优化 .....     | 25-10 |
| 4.5.3 机电一体化产品的整体优化 .....    | 25-10 |
| 5 机电一体化系统的设计流程 .....        | 25-10 |

### 第 2 章 基于工业控制机的

#### 控制器及其设计

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 1 工业控制机的种类与选择 .....      | 25-12 |
| 1.1 工业控制机概述 .....        | 25-12 |
| 1.2 工业控制机的分类 .....       | 25-13 |
| 1.2.1 按工业控制机的总线分类 .....  | 25-13 |
| 1.2.2 按工业控制机结构形式分类 ..... | 25-13 |
| 1.3 工业控制机的选择 .....       | 25-14 |
| 2 工业控制机的总线 .....         | 25-14 |
| 2.1 总线概述 .....           | 25-14 |
| 2.2 STD 总线 .....         | 25-15 |
| 2.3 ISA 总线 .....         | 25-16 |
| 2.4 PCI 总线 .....         | 25-17 |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 2.5 cPCI 总线 .....         | 25-19 |
| 2.6 现场总线 .....            | 25-19 |
| 2.6.1 现场总线的特点 .....       | 25-19 |
| 2.6.2 几种有影响的现场总线技术 .....  | 25-21 |
| 3 工业控制机常用 I/O 模板及选择 ..... | 25-22 |
| 3.1 模拟量输入输出模板 .....       | 25-23 |
| 3.2 数字量输入输出模板 .....       | 25-25 |
| 3.3 远程 I/O 模块 .....       | 25-26 |
| 3.4 通信模板 .....            | 25-27 |
| 3.5 信号调理模板 .....          | 25-27 |
| 3.6 其他功能模板 .....          | 25-27 |

### 第 3 章 可编程序控制器

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 1 可编程序控制器概述 .....               | 25-29 |
| 1.1 可编程序控制器的发展概况 .....          | 25-29 |
| 1.2 可编程序控制器的特点和应用 .....         | 25-29 |
| 1.2.1 PLC 的主要特点 .....           | 25-29 |
| 1.2.2 可编程序控制器与其他工业控制系统的比较 ..... | 25-30 |
| 1.2.3 PLC 的应用范围 .....           | 25-30 |
| 1.3 可编程序控制器的发展趋势 .....          | 25-31 |
| 2 可编程序控制器的基本组成和工作原理 .....       | 25-31 |
| 2.1 可编程序控制器的基本组成 .....          | 25-31 |
| 2.1.1 中央处理单元 (CPU) .....        | 25-32 |
| 2.1.2 存储器 .....                 | 25-32 |
| 2.1.3 输入/输出模块 .....             | 25-33 |
| 2.1.4 编程器 .....                 | 25-33 |
| 2.1.5 人机界面 .....                | 25-33 |
| 2.2 可编程序控制器的工作原理 .....          | 25-33 |
| 2.2.1 循环扫描工作方式 .....            | 25-33 |
| 2.2.2 可编程序控制器的工作过程 .....        | 25-34 |
| 2.3 输入/输出接口模块 .....             | 25-34 |
| 2.3.1 数字量输入、输出模块 .....          | 25-35 |
| 2.3.2 模拟量输入、输出模块 .....          | 25-35 |
| 2.4 智能模块 .....                  | 25-37 |
| 2.5 远程 I/O .....                | 25-39 |

|                              |       |                           |       |
|------------------------------|-------|---------------------------|-------|
| 2.6 可编程序控制器的编程语言 .....       | 25-41 | 3.3 PIC 单片机指令系统简介 .....   | 25-56 |
| 2.6.1 梯形图语言 .....            | 25-41 | 4 控制器的硬件系统设计 .....        | 25-58 |
| 2.6.2 顺序功能图语言 .....          | 25-41 | 4.1 单片机存储器的扩展 .....       | 25-58 |
| 2.6.3 功能块图 .....             | 25-43 | 4.1.1 扩展程序存储器的设计 .....    | 25-58 |
| 2.6.4 指令表 .....              | 25-43 | 4.1.2 扩展数据存储器的设计 .....    | 25-59 |
| 2.6.5 结构化文本 .....            | 25-43 | 4.2 单片机常用并行接口电路 .....     | 25-61 |
| 3 可编程序控制器的生产厂家及产品            |       | 4.3 单片机的人机接口设计 .....      | 25-63 |
| 介绍 .....                     | 25-44 | 4.3.1 单片机系统的输入装置 .....    | 25-63 |
| 3.1 德国西门子 (SIEMENS) 公司 ..... | 25-44 | 4.3.2 单片机系统的显示装置 .....    | 25-65 |
| 3.2 美国罗克韦尔公司的 AB PLC .....   | 25-44 | 4.4 D/A 转换器及其接口电路 .....   | 25-67 |
| 3.3 日本立石 (OMRON, 欧姆龙)        |       | 4.5 A/D 转换器及其接口电路 .....   | 25-67 |
| 公司 .....                     | 25-45 | 4.6 MCS-51 单片机与外围电路的匹配    |       |
| 3.4 其他 PLC 公司 .....          | 25-45 | 技术 .....                  | 25-69 |
| 4 可编程序控制器应用系统设计的内容           |       | 4.6.1 集成逻辑门的负载能力 .....    | 25-70 |
| 和步骤 .....                    | 25-45 | 4.6.2 单片机系统常用集成电路的        |       |
| 4.1 PLC 应用系统设计的内容和步骤 .....   | 25-45 | 驱动能力 .....                | 25-70 |
| 4.2 PLC 应用系统的硬件设计 .....      | 25-45 | 4.6.3 单片机控制系统电平匹配         |       |
| 4.2.1 PLC 的型号选择 .....        | 25-45 | 举例 .....                  | 25-70 |
| 4.2.2 I/O 模块的选择 .....        | 25-45 |                           |       |
| 4.2.3 电源选择 .....             | 25-46 |                           |       |
| 4.3 PLC 的应用软件设计 .....        | 25-46 |                           |       |
| 4.4 PLC 的应用实例——自动搬运          |       |                           |       |
| 机械手 .....                    | 25-46 |                           |       |
|                              |       | <b>第 5 章 传感器及其接口设计</b>    |       |
| <b>第 4 章 基于单片机的控制器及其设计</b>   |       | 1 传感器概述 .....             | 25-72 |
| 1 单片机的硬件结构 .....             | 25-48 | 1.1 传感器的概念 .....          | 25-72 |
| 1.1 单片机的基本结构 .....           | 25-48 | 1.2 传感器的特性和技术指标 .....     | 25-72 |
| 1.2 单片机的微处理器 .....           | 25-48 | 1.2.1 传感器的静态特性 .....      | 25-72 |
| 1.3 MCS-51 的存储器 .....        | 25-49 | 1.2.2 传感器的动态特性 .....      | 25-73 |
| 1.3.1 程序存储器 .....            | 25-49 | 1.2.3 传感器的性能指标 .....      | 25-73 |
| 1.3.2 数据存储器 .....            | 25-49 | 2 几类传感器的主要性能及优缺点 .....    | 25-74 |
| 1.4 MCS-51 的并行口和串行口 .....    | 25-50 | 3 机电一体化中常用传感器 .....       | 25-78 |
| 1.4.1 并行口 .....              | 25-50 | 3.1 位置传感器 .....           | 25-78 |
| 1.4.2 串行口 .....              | 25-50 | 3.2 位移、角度、距离测量传感器 .....   | 25-78 |
| 1.5 MCS-51 的定时器 .....        | 25-50 | 3.3 速度和加速度测量传感器 .....     | 25-81 |
| 1.5.1 方式控制寄存器 TMOD .....     | 25-50 | 3.4 力和力矩测量传感器 .....       | 25-82 |
| 1.5.2 定时器控制寄存器 TCON .....    | 25-51 | 3.5 视觉传感器 .....           | 25-83 |
| 1.6 MCS-51 的中断系统及其控制 .....   | 25-51 | 4 传感器的选用原则及注意事项 .....     | 25-84 |
| 2 常用单片机的厂家及产品介绍 .....        | 25-52 | 5 传感器与计算机的接口设计 .....      | 25-85 |
| 2.1 4 位单片机 .....             | 25-52 |                           |       |
| 2.2 8 位单片机 .....             | 25-53 | <b>第 6 章 常用的传动部件与执行机构</b> |       |
| 2.3 16 位单片机 .....            | 25-54 | 1 机械传动部件及其功能要求 .....      | 25-89 |
| 2.4 32 位单片机 .....            | 25-54 | 1.1 齿轮传动 .....            | 25-90 |
| 3 单片机的编程语言 .....             | 25-55 | 1.1.1 齿轮传动分类及选用 .....     | 25-90 |
| 3.1 单片机编程语言的分类 .....         | 25-55 | 1.1.2 齿轮传动形式及其传动比的        |       |
| 3.2 MCS-51 单片机指令系统 .....     | 25-55 | 最佳匹配选择 .....              | 25-91 |
|                              |       | 1.1.3 齿轮传动间隙的调整方法 .....   | 25-92 |
|                              |       | 1.1.4 谐波齿轮传动 .....        | 25-93 |
|                              |       | 1.2 滚珠螺旋传动 .....          | 25-94 |
|                              |       | 1.2.1 滚珠螺旋的传动原理 .....     | 25-94 |

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| 1.2.2 滚动螺旋副支承方式的选择 .....      | 25 - 97  |
| 1.2.3 滚动螺旋副的密封与润滑 .....       | 25 - 98  |
| 1.2.4 滚动螺旋副的选择方法 .....        | 25 - 98  |
| 1.3 挠性传动 .....                | 25 - 98  |
| 1.3.1 平形带传动 .....             | 25 - 98  |
| 1.3.2 绳传动 .....               | 25 - 99  |
| 1.3.3 链传动 .....               | 25 - 99  |
| 1.3.4 同步齿形带传动 .....           | 25 - 100 |
| 2 导向支承部件的结构形式选择 .....         | 25 - 100 |
| 2.1 导轨副的组成、种类 .....           | 25 - 100 |
| 2.2 滑动导轨 .....                | 25 - 103 |
| 2.3 静压导轨 .....                | 25 - 106 |
| 2.4 滚动导轨 .....                | 25 - 107 |
| 3 旋转支承的类型与选择 .....            | 25 - 110 |
| 3.1 旋转支承的种类及基本要求 .....        | 25 - 110 |
| 3.2 圆柱支承 .....                | 25 - 111 |
| 3.3 圆锥支承 .....                | 25 - 111 |
| 3.4 填入式滚动支承 .....             | 25 - 112 |
| 4 轴系部件的设计与选择 .....            | 25 - 112 |
| 4.1 轴系设计的基本要求 .....           | 25 - 112 |
| 4.2 轴(主轴)系用轴承的类型<br>与选择 ..... | 25 - 113 |
| 4.3 提高轴系性能的措施 .....           | 25 - 114 |
| 5 常用执行机构 .....                | 25 - 115 |
| 5.1 连杆机构 .....                | 25 - 115 |
| 5.2 凸轮机构 .....                | 25 - 116 |
| 5.3 间歇机构 .....                | 25 - 116 |
| 5.4 机器人的典型机构 .....            | 25 - 118 |

## 第7章 常用控制用电动机及其驱动

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| 1 对控制用电动机的基本要求 .....            | 25 - 120 |
| 2 控制用电动机的种类、特点及选用 .....         | 25 - 120 |
| 3 直流伺服(DC)电动机与驱动 .....          | 25 - 121 |
| 3.1 直流电动机调速原理及调速<br>特性 .....    | 25 - 121 |
| 3.2 永磁直流电动机伺服系统 .....           | 25 - 121 |
| 3.3 直流伺服电动机驱动 .....             | 25 - 122 |
| 4 交流伺服电动机与驱动 .....              | 25 - 124 |
| 4.1 交流异步电动机 .....               | 25 - 124 |
| 4.1.1 工作原理 .....                | 25 - 124 |
| 4.1.2 异步电动机的运行特性 .....          | 25 - 125 |
| 4.1.3 性能指标 .....                | 25 - 126 |
| 4.1.4 交流异步伺服电动机的<br>驱动与控制 ..... | 25 - 126 |
| 4.2 交流同步电动机 .....               | 25 - 128 |
| 4.2.1 同步电动机工作原理 .....           | 25 - 128 |

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| 4.2.2 等效电路 .....              | 25 - 129 |
| 4.2.3 交流同步电动机的运行<br>特性 .....  | 25 - 129 |
| 4.2.4 同步电动机的控制 .....          | 25 - 130 |
| 4.3 交流伺服电动机常用电力电子<br>器件 ..... | 25 - 132 |
| 5 步进电动机与驱动 .....              | 25 - 134 |
| 5.1 步进电动机分类 .....             | 25 - 134 |
| 5.2 步进电动机工作原理 .....           | 25 - 134 |
| 5.3 步进电动机驱动与控制 .....          | 25 - 134 |
| 5.3.1 脉冲分配器 .....             | 25 - 135 |
| 5.3.2 功率放大器 .....             | 25 - 135 |

## 第8章 机电一体化设计实例

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| 1 振幅定值控制电磁振动给料机 .....           | 25 - 138 |
| 1.1 电磁振动给料机的工作原理 .....          | 25 - 138 |
| 1.2 溜槽式固体流量计工作原理 .....          | 25 - 138 |
| 1.3 对控制系统的技术要求 .....            | 25 - 139 |
| 1.4 电磁振动定量给料控制系统的<br>方案确定 ..... | 25 - 139 |
| 1.4.1 CPU 选择 .....              | 25 - 139 |
| 1.4.2 输入输出接口的配置 .....           | 25 - 139 |
| 1.4.3 键盘显示器 .....               | 25 - 139 |
| 1.4.4 串行通信 .....                | 25 - 139 |
| 1.4.5 系统电源 .....                | 25 - 140 |
| 2 电子传送带配料秤 .....                | 25 - 140 |
| 2.1 传送带配料秤的工作原理 .....           | 25 - 140 |
| 2.2 传送带配料秤监控仪的技术<br>要求 .....    | 25 - 140 |
| 2.3 监控仪的硬件结构及其组成<br>电路 .....    | 25 - 141 |
| 2.4 系统软件设计 .....                | 25 - 141 |
| 3 立式包装机 .....                   | 25 - 142 |
| 3.1 立式连续制袋三边封包装机<br>工作原理 .....  | 25 - 143 |
| 3.2 立式包装机技术要求 .....             | 25 - 144 |
| 3.3 传动系统及电控原理 .....             | 25 - 144 |
| 4 电动喷砂机器人 .....                 | 25 - 146 |
| 4.1 机器人机构原理 .....               | 25 - 146 |
| 4.2 控制系统 .....                  | 25 - 146 |
| 4.3 机器人参数规格 .....               | 25 - 147 |
| 4.4 控制算法简介 .....                | 25 - 147 |
| 5 XH714 立式加工中心 .....            | 25 - 149 |
| 5.1 机床简介 .....                  | 25 - 149 |
| 5.2 数控系统 .....                  | 25 - 149 |
| 5.3 伺服系统 .....                  | 25 - 150 |

|                  |          |
|------------------|----------|
| 5.4 I/O 控制 ..... | 25 - 152 |
|------------------|----------|

|              |          |
|--------------|----------|
| 5.5 电源 ..... | 25 - 154 |
|--------------|----------|

## 第 26 篇 机电系统控制

### 第 1 章 概 述

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 1 自动控制系统的基本组成 .....     | 26 - 3 |
| 2 自动控制系统的分类 .....       | 26 - 3 |
| 3 对自动控制系统的基本要求 .....    | 26 - 4 |
| 4 控制系统的性能指标 .....       | 26 - 4 |
| 4.1 控制系统的时域性能指标 .....   | 26 - 5 |
| 4.1.1 典型输入信号 .....      | 26 - 5 |
| 4.1.2 一阶系统的时域性能指标 ..... | 26 - 5 |
| 4.1.3 二阶系统的时域性能指标 ..... | 26 - 5 |
| 4.1.4 高阶系统的时域性能指标 ..... | 26 - 7 |
| 4.2 控制系统的频域性能指标 .....   | 26 - 8 |
| 5 自动控制系统设计的基本原则 .....   | 26 - 9 |

### 第 2 章 控制系统数学模型

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 1 系统的微分方程 .....              | 26 - 10 |
| 2 系统的传递函数 .....              | 26 - 11 |
| 2.1 传递函数的定义 .....            | 26 - 11 |
| 2.2 传递函数的性质 .....            | 26 - 11 |
| 2.3 与传递函数相关的几个基本概念 .....     | 26 - 11 |
| 2.4 典型环节的微分方程和传递函数 .....     | 26 - 11 |
| 3 系统的状态空间表达式 .....           | 26 - 13 |
| 3.1 基本概念 .....               | 26 - 13 |
| 3.2 状态空间表达式 .....            | 26 - 13 |
| 3.3 状态空间表达式的建立方法 .....       | 26 - 14 |
| 3.3.1 建立状态空间表达式的直接方法 .....   | 26 - 14 |
| 3.3.2 由微分方程求状态空间表达式 .....    | 26 - 14 |
| 3.3.3 由系统传递函数写出状态空间表达式 ..... | 26 - 15 |
| 3.4 系统的传递函数矩阵 .....          | 26 - 15 |
| 3.4.1 传递函数矩阵的概念 .....        | 26 - 15 |
| 3.4.2 由状态空间表达式求传递函数矩阵 .....  | 26 - 15 |
| 4 离散系统的数学模型 .....            | 26 - 16 |
| 4.1 离散系统的差分方程 .....          | 26 - 16 |
| 4.1.1 差分方程含义 .....           | 26 - 16 |
| 4.1.2 差分方程的解法 .....          | 26 - 16 |

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 4.2 离散系统的传递函数 .....        | 26 - 16 |
| 4.2.1 离散传递函数的定义 .....      | 26 - 16 |
| 4.2.2 离散传递函数的求法 .....      | 26 - 16 |
| 4.2.3 开环系统的脉冲传递函数 .....    | 26 - 17 |
| 4.2.4 闭环系统的脉冲传递函数 .....    | 26 - 17 |
| 4.3 离散系统的状态空间表达式 .....     | 26 - 18 |
| 4.3.1 离散系统状态方程的建立 .....    | 26 - 18 |
| 4.3.2 离散系统的传递矩阵 .....      | 26 - 19 |
| 5 系统框图 .....               | 26 - 19 |
| 5.1 画框图的规则 .....           | 26 - 19 |
| 5.2 框图的基本连接方式与等效变换规则 ..... | 26 - 19 |
| 5.3 框图的简化 .....            | 26 - 20 |
| 6 信号流图 .....               | 26 - 20 |
| 6.1 信号流图的性质 .....          | 26 - 21 |
| 6.2 信号流图的简化 .....          | 26 - 21 |
| 6.3 梅逊公式及其应用 .....         | 26 - 21 |
| 7 非线性系统线性化 .....           | 26 - 21 |

### 第 3 章 控制系统分析方法

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 1 频率特性分析法 .....             | 26 - 24 |
| 1.1 频率特性的基本概念 .....         | 26 - 24 |
| 1.2 频率特性的求法 .....           | 26 - 24 |
| 1.3 频率特性的图示法 .....          | 26 - 24 |
| 1.3.1 极坐标图 .....            | 26 - 24 |
| 1.3.2 对数坐标图 .....           | 26 - 24 |
| 2 根轨迹分析法 .....              | 26 - 28 |
| 2.1 根轨迹定义 .....             | 26 - 28 |
| 2.2 根轨迹的幅值条件和相角条件 .....     | 26 - 28 |
| 2.3 绘制根轨迹的基本规则 .....        | 26 - 28 |
| 2.4 在开环传递函数中增加极、零点的影响 ..... | 26 - 29 |
| 3 系统稳定性 .....               | 26 - 31 |
| 3.1 系统稳定性的基本概念 .....        | 26 - 31 |
| 3.2 线性系统的代数稳定性判据 .....      | 26 - 31 |
| 3.2.1 赫尔维茨判据 .....          | 26 - 31 |
| 3.2.2 劳斯判据 .....            | 26 - 31 |
| 3.2.3 谢绪恺判据 .....           | 26 - 32 |
| 3.3 李亚普诺夫稳定性判据 .....        | 26 - 33 |
| 3.4 乃奎斯特稳定性判据 .....         | 26 - 33 |

|                                  |       |                                    |       |
|----------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| 3.4.1 乃奎斯特判据 .....               | 26-33 | 1.2 智能机器的智能级别 .....                | 26-53 |
| 3.4.2 乃奎斯特判据的应用 .....            | 26-33 | 1.3 智能化系统的结构 .....                 | 26-53 |
| 3.5 根据 Bode 图判断系统的稳定性 .....      | 26-34 | 1.4 智能控制系统的特点 .....                | 26-54 |
| 3.6 系统的相对稳定性 .....               | 26-34 | 1.5 运动状态的智能控制 .....                | 26-55 |
| 3.6.1 相位稳定裕度 .....               | 26-34 | 1.5.1 交通工具运动状态的智能控制 .....          | 26-56 |
| 3.6.2 幅值稳定裕度 .....               | 26-35 | 1.5.2 各种数控机床运动状态的智能控制 .....        | 26-56 |
| 3.6.3 关于相位裕度和幅值裕度的<br>几点说明 ..... | 26-35 | 1.5.3 机器人运动状态的智能控制 .....           | 26-56 |
| 4 控制系统的误差 .....                  | 26-35 | 2 最优控制 .....                       | 26-57 |
| 4.1 系统的复域误差 .....                | 26-35 | 2.1 最优性能指标 .....                   | 26-57 |
| 4.2 系统时域稳态误差 .....               | 26-36 | 2.1.1 积分型最优性能指标 .....              | 26-57 |
| 4.3 系统稳态误差的计算 .....              | 26-36 | 2.1.2 末值型最优性能指标 .....              | 26-57 |
| 4.3.1 系统的类型 .....                | 26-36 | 2.1.3 综合最优性能指标 .....               | 26-57 |
| 4.3.2 系统的误差传递函数 .....            | 26-36 | 2.2 最优控制的约束条件 .....                | 26-57 |
| 4.3.3 稳态误差系数与稳态误差 .....          | 26-36 | 2.2.1 对系统的最大控制作用或控制<br>容量的限制 ..... | 26-57 |
| 4.4 扰动引起的误差 .....                | 26-37 | 2.2.2 终了状态的约束条件 .....              | 26-57 |
| 5 离散系统的 Z 域分析 .....              | 26-37 | 2.2.3 系统的最优参数问题 .....              | 26-58 |
| 5.1 离散系统的稳定性分析 .....             | 26-37 | 2.3 二次型最优控制 .....                  | 26-58 |
| 5.2 极点分布与瞬态响应的关系 .....           | 26-38 | 2.4 离散系统的二次型最优控制 .....             | 26-58 |
| 5.3 离散系统的稳态误差 .....              | 26-38 | 2.4.1 离散系统二次型最优控制问题<br>的求解 .....   | 26-58 |

## 第 4 章 控制系统设计方法

|                                      |       |                          |       |
|--------------------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 1 控制系统设计的基本原理 .....                  | 26-40 | 2.4.2 采用离散极小值原理的求解 ..... | 26-58 |
| 1.1 Bode 定理 .....                    | 26-40 | 2.4.3 最小性能指标的计算 .....    | 26-60 |
| 1.2 反馈校正 .....                       | 26-40 | 2.5 动力减振器的最优控制 .....     | 26-63 |
| 1.3 顺馈校正 .....                       | 26-41 | 3 自适应控制系统 .....          | 26-64 |
| 1.4 串联校正 .....                       | 26-41 | 3.1 模型参考自适应控制 .....      | 26-64 |
| 1.5 控制器分类 .....                      | 26-41 | 3.2 自校正自适应控制 .....       | 26-65 |
| 2 控制器设计方法 .....                      | 26-43 | 4 模糊控制 .....             | 26-66 |
| 2.1 按希望特性设计控制器的基本原理 .....            | 26-43 | 4.1 模糊控制的基本原理 .....      | 26-66 |
| 2.1.1 典型 I 型系统 (二阶希望特性<br>系统) .....  | 26-43 | 4.1.1 单变量模糊控制系统 .....    | 26-66 |
| 2.1.2 典型 II 型系统 (三阶希望特性<br>系统) ..... | 26-45 | 4.1.2 多变量模糊控制系统 .....    | 26-67 |
| 2.2 按希望特性设计控制器的图解法 .....             | 26-46 | 4.2 工作台位置智能控制 .....      | 26-68 |
| 2.3 按希望特性设计控制器的直接法 .....             | 26-47 | 4.3 微波催化连续反应的智能控制 .....  | 26-70 |
| 2.4 PID 控制器 .....                    | 26-48 | 4.3.1 控制器设计 .....        | 26-70 |
| 3 离散系统设计 .....                       | 26-50 | 4.3.2 控制软件设计 .....       | 26-72 |
| 3.1 模拟化设计法 .....                     | 26-50 | 4.3.3 实验及其结果 .....       | 26-72 |
| 3.2 离散设计法 .....                      | 26-50 | 5 自学习控制系统 .....          | 26-73 |
| 3.3 PID 数字控制器 .....                  | 26-50 | 6 人工神经网络控制系统 .....       | 26-74 |
|                                      |       | 6.1 人工神经元模型 .....        | 26-74 |
|                                      |       | 6.2 人工神经网络的构成 .....      | 26-74 |
|                                      |       | 6.3 人工神经网络的学习算法 .....    | 26-75 |

## 第 5 章 先进控制理论基础

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 1 系统智能化 .....   | 26-52 |
| 1.1 步行挖掘机 ..... | 26-52 |

## 第 6 章 机械运动控制系统

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 系统机械结构及传动 ..... | 26-77 |
| 1.1 系统结构及载荷 ..... | 26-77 |

|                                   |         |                        |          |
|-----------------------------------|---------|------------------------|----------|
| 1.1.1 系统载荷分析计算 .....              | 26 - 77 | 3.1 运动控制器 .....        | 26 - 94  |
| 1.1.2 负载折算 .....                  | 26 - 77 | 3.2 伺服电动机 .....        | 26 - 96  |
| 1.1.3 负载综合计算 .....                | 26 - 79 | 3.3 减速器 .....          | 26 - 97  |
| 1.2 驱动系统设计 .....                  | 26 - 79 | 3.4 编码器 .....          | 26 - 98  |
| 1.2.1 一般性设计原则 .....               | 26 - 80 | 3.5 人机界面平台 .....       | 26 - 99  |
| 1.2.2 设计举例 .....                  | 26 - 80 | 3.6 线性伺服电动机 .....      | 26 - 100 |
| 2 运动驱动器 .....                     | 26 - 81 | 3.7 直驱电动机运动平台 .....    | 26 - 100 |
| 2.1 直流伺服电动机 .....                 | 26 - 81 | 4 位置控制系统 .....         | 26 - 101 |
| 2.1.1 直流伺服电动机的驱动 .....            | 26 - 81 | 4.1 机器人控制系统 .....      | 26 - 101 |
| 2.1.2 直流伺服电动机的控制 .....            | 26 - 83 | 4.1.1 基本组成 .....       | 26 - 101 |
| 2.2 交流伺服电动机 .....                 | 26 - 83 | 4.1.2 控制方式 .....       | 26 - 102 |
| 2.2.1 永磁同步电动机的结构与工作<br>原理 .....   | 26 - 83 | 4.2 数控机床伺服系统 .....     | 26 - 103 |
| 2.2.2 永磁同步电动机的数学模型 .....          | 26 - 83 | 4.2.1 伺服系统的组成 .....    | 26 - 103 |
| 2.2.3 正弦波永磁同步电动机的矢量<br>控制方法 ..... | 26 - 86 | 4.2.2 对伺服系统的基本要求 ..... | 26 - 103 |
| 2.2.4 交流伺服电动机的使用 .....            | 26 - 88 | 4.2.3 控制方式 .....       | 26 - 103 |
| 2.3 步进电动机 .....                   | 26 - 89 | 5 工作台位置控制系统设计实例 .....  | 26 - 104 |
| 2.3.1 步进电动机的种类 .....              | 26 - 89 | 5.1 系统组成 .....         | 26 - 104 |
| 2.3.2 步进电动机的主要性能指标 .....          | 26 - 90 | 5.2 工作原理 .....         | 26 - 104 |
| 2.3.3 步进电动机的控制特性 .....            | 26 - 91 | 5.3 系统数学模型的建立 .....    | 26 - 105 |
| 2.3.4 步进电动机的选择与使用 .....           | 26 - 91 | 5.4 系统性能特性分析 .....     | 26 - 107 |
| 2.4 直线电动机 .....                   | 26 - 92 | 5.5 系统稳定性分析 .....      | 26 - 107 |
| 2.4.1 直线电动机的原理和分类 .....           | 26 - 92 | 5.6 系统设计 .....         | 26 - 108 |
| 2.4.2 直线电动机的选用原则 .....            | 26 - 93 | 6 飞机机翼的位置控制系统分析 .....  | 26 - 108 |
| 2.4.3 直线感应电动机的应用范围 .....          | 26 - 93 | 6.1 单位阶跃瞬态响应 .....     | 26 - 110 |
| 2.4.4 直线直流电动机的应用 .....            | 26 - 94 | 6.2 单位阶跃稳态响应 .....     | 26 - 111 |
| 3 控制系统典型元器件 .....                 | 26 - 94 | 6.3 单位斜坡输入的时间响应 .....  | 26 - 111 |
|                                   |         | 6.4 三阶系统的时间响应 .....    | 26 - 112 |
|                                   |         | 参考文献 .....             | 26 - 113 |

## 第 27 篇 工业机器人技术

### 第 1 章 概 述

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 1 机器人、工业机器人、机器人系统 ..... | 27 - 3 |
| 1.1 机器人 .....           | 27 - 3 |
| 1.2 工业机器人 .....         | 27 - 3 |
| 1.3 工业机器人的构成 .....      | 27 - 4 |
| 2 工业机器人专用术语 .....       | 27 - 4 |
| 2.1 有关机械结构和性能的术语 .....  | 27 - 4 |
| 2.2 有关控制和安全的术语 .....    | 27 - 6 |
| 2.3 工业机器人的分类 .....      | 27 - 6 |
| 3 工业机器人性能规范和测试方法 .....  | 27 - 7 |
| 3.1 工业机器人性能指标 .....     | 27 - 7 |
| 3.2 工业机器人测试方法 .....     | 27 - 8 |

|                      |        |
|----------------------|--------|
| 4 机器人的新发展与发展趋势 ..... | 27 - 9 |
|----------------------|--------|

### 第 2 章 工业机器人本体

|                        |         |
|------------------------|---------|
| 1 工业机器人的自由度与坐标形式 ..... | 27 - 11 |
| 1.1 工业机器人本体 .....      | 27 - 11 |
| 1.2 自由度 .....          | 27 - 11 |
| 1.3 工业机器人运动的坐标形式 ..... | 27 - 12 |
| 2 机器人的不同结构及其特点 .....   | 27 - 12 |
| 3 机器人运动学与动力学 .....     | 27 - 13 |
| 3.1 基本定义 .....         | 27 - 13 |
| 3.2 机器人运动学正问题 .....    | 27 - 13 |
| 3.3 机器人运动学逆问题 .....    | 27 - 14 |
| 3.4 微分关系式 .....        | 27 - 14 |