

“十三五”国家重点图书出版规划项目
机械工业出版社

现代 机械设计手册

MODERN
HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN

第5卷

第二版

秦大同 谢里阳 主编



化学工业出版社

“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

现代机械设计手册

第二版

第 5 卷

秦大同 谢里阳 主编

化学工业出版社

· 北京 ·

《现代机械设计手册》第二版是顺应“中国制造2025”智能装备设计新要求、技术先进、数据可靠的一部现代化的机械设计大型工具书，涵盖现代机械零部件及传动设计、智能装备及控制设计、现代机械设计方法三部分内容。第二版重点加强机械智能化产品设计（3D打印、智能零部件、节能元器件）、智能装备（机器人及智能化装备）控制及系统设计、现代设计方法及应用等内容。

《现代机械设计手册》共6卷，其中第1卷包括机械设计基础资料，零件结构设计，机械制图和几何精度设计，机械工程材料，连接件与紧固件；第2卷包括轴和联轴器，滚动轴承，滑动轴承，机架、箱体及导轨，弹簧，机构，机械零部件设计禁忌，带传动、链传动；第3卷包括齿轮传动，减速器、变速器，离合器、制动器，润滑，密封；第4卷包括液力传动，液压传动与控制，气压传动与控制；第5卷包括智能装备系统设计，工业机器人系统设计，传感器，控制元器件和控制单元，电动机；第6卷包括机械振动与噪声，疲劳强度设计，可靠性设计，优化设计，逆向设计，数字化设计，人机工程与产品造型设计，创新设计，绿色设计。

新版手册从新时代机械设计人员的实际需求出发，追求现代感，兼顾实用性、通用性、准确性，涵盖了各种常规和通用的机械设计技术资料，贯彻了最新的国家和行业标准，推荐了国内外先进、智能、节能、通用的产品，体现了便查易用的编写风格。

《现代机械设计手册》可作为机械装备研发、设计技术人员和有关工程技术人员的工具书，也可供高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代机械设计手册. 第5卷/秦大同, 谢里阳主编. —2
版. —北京: 化学工业出版社, 2019.3
ISBN 978-7-122-33383-4

I. ①现… II. ①秦… ②谢… III. ①机械设计-手册
IV. ①TH122-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 267807 号

责任编辑: 张兴辉 王焯 贾娜 邢涛 项激 曾越 金林茹 装帧设计: 尹琳琳
责任校对: 宋夏

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 中煤 (北京) 印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 96½ 字数 3281 千字 2019 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 198.00 元
京化广临字 2019—04

版权所有 违者必究

第二版卷目

《现代机械设计手册》



第1卷

- 第1篇 机械设计基础资料
- 第2篇 零件结构设计
- 第3篇 机械制图和几何精度设计
- 第4篇 机械工程材料
- 第5篇 连接件与紧固件

第2卷

- 第6篇 轴和联轴器
- 第7篇 滚动轴承
- 第8篇 滑动轴承
- 第9篇 机架、箱体及导轨
- 第10篇 弹簧
- 第11篇 机构
- 第12篇 机械零部件设计禁忌
- 第13篇 带传动、链传动

第3卷

- 第14篇 齿轮传动
- 第15篇 减速器、变速器
- 第16篇 离合器、制动器
- 第17篇 润滑
- 第18篇 密封

第4卷

- 第19篇 液力传动
- 第20篇 液压传动与控制
- 第21篇 气压传动与控制

第5卷

- 第22篇 智能装备系统设计
- 第23篇 工业机器人系统设计
- 第24篇 传感器
- 第25篇 控制元器件和控制单元
- 第26篇 电动机

第6卷

- 第27篇 机械振动与噪声
- 第28篇 疲劳强度设计
- 第29篇 可靠性设计
- 第30篇 优化设计
- 第31篇 逆向设计
- 第32篇 数字化设计
- 第33篇 人机工程与产品造型设计
- 第34篇 创新设计
- 第35篇 绿色设计

撰稿和审稿人员

手册主编

秦大同 (重庆大学)

谢里阳 (东北大学)

卷	篇	篇主编	撰稿人	审稿人
第1卷	第1篇	化学工业出版社组织编写	张红燕、刘梅、李翔、董敏	王建军
	第2篇	翟文杰(哈尔滨工业大学)	翟文杰	王连明
	第3篇	郑鹏(郑州大学) 方东阳(郑州大学)	郑鹏、方东阳、张琳娜、赵凤霞、 焦利敏、职占新、刘栋梁、吴江昊、 王敏、尹浩田、辛传福、武钰瑾	张爱梅
	第4篇	方昆凡(东北大学)	方昆凡、单宝峰、石加联、梁京、 夏永发、陈述平、崔虹雯、黄英	谭建荣
	第5篇	王三民(西北工业大学)	王三民、袁茹、高举、李洲洋	陈国定
第2卷	第6篇	吴立言(西北工业大学)	刘岚、李洲洋、吴立言	陈国定
	第7篇	郭宝霞 (洛阳轴承研究所有限公司)	郭宝霞、周宇、勇泰芳、张小玲、 秦汉涛、陈庆熙、张松	杨晓蔚
	第8篇	徐华(西安交通大学)	徐华、诸文俊、谢振宇、郭宝霞、 冯凯、张胜伦	朱均
	第9篇	王瑜(哈尔滨工业大学) 翟文杰(哈尔滨工业大学)	王瑜、翟文杰、郭宝霞	王连明
	第10篇	姜洪源(哈尔滨工业大学) 敖宏瑞(哈尔滨工业大学)	姜洪源、敖宏瑞、李胜波、王廷剑	陈照波
	第11篇	李瑰贤(哈尔滨工业大学) 郝振洁(陆军军事交通学院)	李瑰贤、郝振洁、孙开元、张丽杰、 徐来春、马超、李改玲、孙爱丽、 王文照、刘雅倩、赵永强	李瑰贤 孙开元
	第12篇	向敬忠(哈尔滨理工大学)	向敬忠、潘承怡、宋欣	于惠力 向敬忠
	第13篇	姜洪源(哈尔滨工业大学) 闫辉(哈尔滨工业大学)	姜洪源、闫辉	曲建俊 郭建华
第3卷	第14篇	秦大同(重庆大学) 陈兵奎(重庆大学)	张光辉、郭晓东、林腾蛟、林超、 秦大同、陈兵奎、石万凯、邓效忠、 罗文军、廖映华、张卫青、欧阳志喜	李钊刚
	第15篇	秦大同(重庆大学) 龚仲华(常州机电职业技术学院)	孙冬野、刘振军、秦大同、廖映华、 龚仲华	吴晓铃
	第16篇	秦大同(重庆大学)	秦大同、朱春梅、田兴林	孔庆堂
	第17篇	吴晓铃(郑州大学)	吴晓铃、刘杰、吴启东	陈大融
	第18篇	郝木明(中国石油大学)	郝木明、孙鑫晖、王淮维、刘馥瑜	陈大融



第4卷

卷	篇	篇主编	撰稿人	审稿人
第4卷	第19篇	马文星(吉林大学)	马文星、杨乃乔、王宏卫、邹铁汉、宋斌、刘春宝、卢秀泉、王松林、宋春涛、曹晓宇、熊以恒、潘志勇、邓洪超、才委、何延东、赵紫苓、姜丽英、侯继海、王佳欣、魏亚宵	方佳雨 刘春朝 刘伟辉
	第20篇	高殿荣(燕山大学)	刘涛、吴晓明、张伟、张齐生、赵静一、高殿荣	高殿荣 姚晓先 吴晓明
	第21篇	吴晓明(燕山大学)	吴晓明、包钢、杨庆俊、向东	姚晓先



第5卷

第5卷	第22篇	孟新宇(沈阳工业大学) 郝长中(沈阳理工大学)	孟新宇、刘慧芳、杨国哲、王剑、勾轶、谷艳玲、郝长中、王铁军、吴东生、杨青、高启扬	于国安
	第23篇	吴成东(东北大学) 姜杨(东北大学)	吴成东、姜杨、房立金、王斐、迟剑宁	贾子熙 丁其川
	第24篇	孙红春(东北大学)	王明赞、李佳、孙红春、胡智勇、叶大勇	林贵瑜
	第25篇	王洁(沈阳工业大学)	王洁、王野牧、谷艳玲、杨国哲、孙洪林、张靖	徐方
	第26篇	时献江(哈尔滨理工大学)	时献江、杜海艳、王昕、柴林杰	邵俊鹏



第6卷

第6卷	第27篇	华宏星(上海交通大学)	华宏星、陈锋、湛勇、董兴建、黄修长、黄煜、焦素娟、蒋伟康、雷敏、李富才、刘树英、龙新华、饶柱石、塔娜、吴海军、严莉、张文明、张志谊	胡宗武 塔娜
	第28篇	谢里阳(东北大学)	谢里阳、王雷	赵少汴
	第29篇	谢里阳(东北大学)	谢里阳、钱文学、吴宁祥	孙志礼
	第30篇	何雪滋(东北大学)	何雪滋、张翔、张瑞金	颜云辉
	第31篇	盛忠起(东北大学) 朱建宁(大连交通大学)	盛忠起、谢华龙、许之伟、李飞、朱建宁、尤学文、韩朝建、徐超、葛亦凡、李照祥	卢碧红 隋天中
	第32篇	李卫民(辽宁工业大学)	李卫民、刘淑芬、赵文川、刘阳、刘志强、唐兆峰、宋小龙、于晓丹、邢颖	刘永贤
	第33篇	曾红(辽宁工业大学)	曾红、陈明	刘永贤
	第34篇	赵新军(东北大学)	赵新军、钟莹、孙晓枫	李赤泉
	第35篇	张秀芬(内蒙古工业大学)	张秀芬、蔚刚	胡志勇

《现代机械设计手册》第一版自 2011 年 3 月出版以来，赢得了机械设计人员、工程技术人员和高等院校专业师生广泛的青睐和好评，荣获了 2011 年全国优秀畅销书（科技类）。同时，因其在机械设计领域重要的科学价值、实用价值和现实意义，《现代机械设计手册》还荣获 2009 年国家出版基金资助和 2012 年中国机械工业科学技术奖。

《现代机械设计手册》第一版出版距今已经 8 年，在这期间，我国的装备制造业发生了许多重大的变化，尤其是 2015 年国家部署并颁布了实现中国制造业发展的十年行动纲领——中国制造 2025，发布了针对“中国制造 2025”的五大“工程实施指南”，为机械制造业的未来发展指明了方向。在国家政策号召和驱使下，我国的机械工业获得了快速的发展，自主创新的能力不断加强，一批高技术、高性能、高精尖的现代化装备不断涌现，各种新材料、新工艺、新结构、新产品、新方法、新技术不断产生、发展并投入实际应用，大大提升了我国机械设计与制造的技术水平和国际竞争力。《现代机械设计手册》第二版最重要的原则就是紧密结合“中国制造 2025”国家规划和创新驱动发展战略，在内容上与时俱进，全面体现创新、智能、节能、环保的主题，进一步呈现机械设计的现代感。鉴于此，《现代机械设计手册》第二版被列入了“十三五国家重点出版物规划项目”。

在本版手册的修订过程中，我们广泛深入机械制造企业、设计院、科研院所和高等院校进行调研，听取各方面读者的意见和建议，最终确定了《现代机械设计手册》第二版的根本宗旨：一方面，新版手册进一步加强机、电、液、控制技术的有机融合，以全面适应机器人等智能化装备系统设计开发的新要求；另一方面，随着现代机械设计方法和工程设计软件的广泛应用和普及，新版手册继续促进传动设计与现代设计的有机结合，将各种新的设计技术、计算技术、设计工具全面融入传统的机械设计实际工作中。

《现代机械设计手册》第二版共 6 卷 35 篇，它是一部面向“中国制造 2025”，适应智能装备设计开发新要求、技术先进、数据可靠、符合现代机械设计潮流的现代化的机械设计大型工具书，涵盖现代机械零部件及传动设计、智能装备及控制设计、现代机械设计方法及应用三部分内容，具有以下六大特色。

1. 权威性。《现代机械设计手册》阵容强大，编、审人员大都来自于设计、生产、教学和科研第一线，具有深厚的理论功底、丰富的设计实践经验。他们中很多人都是所属领域的知名专家，在业内有广泛的影响力和知名度，获得过多项国家和省部级科技进步奖、发明奖和技术专利，承担了许多机械领域国家重要的科研和攻关项目。这支专业、权威的编审队伍确保了手册准确、实用的内容质量。

2. 现代感。追求现代感，体现现代机械设计气氛，满足时代要求，是《现代机械设计手册》的基本宗旨。“现代”二字主要体现在：新标准、新技术、新材料、新结构、新工艺、新产品、智能化、现代的设计理念、现代的设计方法和现代的设计手段等几个方面。第二版重点加强机械智能化产品设计（3D 打印、智能零部件、节能元器件）、智能装备（机器人及智能化装备）控制及系统设计、数字化设计等内容。

（1）“零件结构设计”等篇进一步完善零部件结构设计的内容，结合目前的 3D 打印（增材制造）技术，增加 3D 打印工艺下零件结构设计的相关技术内容。



“机械工程材料”篇增加 3D 打印材料以及新型材料的内容。

(2) 机械零部件及传动设计各篇增加了新型智能零部件、节能元器件及其应用技术，例如“滑动轴承”篇增加了新型的智能轴承，“润滑”篇增加了微量润滑技术等内容。

(3) 全面增加了工业机器人设计及应用的内容：新增了“工业机器人系统设计”篇；“智能装备系统设计”篇增加了工业机器人应用开发的内容；“机构”篇增加了自动化机构及机构创新的内容；“减速器、变速器”篇增加了工业机器人减速器选用设计的内容；“带传动、链传动”篇增加并完善了工业机器人适用的同步带传动设计的内容；“齿轮传动”篇增加了 RV 减速器传动设计、谐波齿轮传动设计的内容等。

(4) “气压传动与控制”“液压传动与控制”篇重点加强并完善了控制技术的内容，新增了气动系统自动控制、气动人工肌肉、液压和气动新型智能元器件及新产品等内容。

(5) 继续加强第 5 卷机电控制系统设计的相关内容：除增加“工业机器人系统设计”篇外，原“机电一体化系统设计”篇充实扩充形成“智能装备系统设计”篇，增加并完善了智能装备系统设计的相关内容，增加智能装备系统开发实例等。

“传感器”篇增加了机器人传感器、航空航天装备用传感器、微机械传感器、智能传感器、无线传感器的技术原理和产品，加强传感器应用和选用的内容。

“控制元器件和控制单元”篇和“电动机”篇全面更新产品，重点推荐了一些新型的智能和节能产品，并加强产品选用的内容。

(6) 第 6 卷进一步加强现代机械设计方法应用的内容：在 3D 打印、数字化设计等智能制造理念的倡导下，“逆向设计”“数字化设计”等篇全面更新，体现了“智能工厂”的全数字化设计的时代特征，增加了相关设计应用实例。

增加“绿色设计”篇；“创新设计”篇进一步完善了机械创新设计原理，全面更新创新实例。

(7) 在贯彻新标准方面，收录并合理编排了目前最新颁布的国家和行业标准。

3. 实用性。新版手册继续加强实用性，内容的选定、深度的把握、资料的取舍和章节的编排，都坚持从设计和生产的实际需要出发：例如机械零部件数据资料主要依据最新国家和行业标准，并给出了相应的设计实例供设计人员参考；第 5 卷机电控制设计部分，完全站在机械设计人员的角度来编写——注重产品如何选用，摒弃或简化了控制的基本原理，突出机电系统设计，控制元器件、传感器、电动机部分注重介绍主流产品的技术参数、性能、应用场合、选用原则，并给出了相应的设计选用实例；第 6 卷现代机械设计方法中简化了繁琐的数学推导，突出了最终的计算结果，结合具体的算例将设计方法通俗地呈现出来，便于读者理解和掌握。

为方便广大读者的使用，手册在具体内容的表述上，采用以图表为主的编写风格。这样既增加了手册的信息容量，更重要的是方便了读者的查阅使用，有利于提高设计人员的工作效率和设计速度。

为了进一步增加手册的承载容量和时效性，本版修订将部分篇章的内容放入二维码中，读者可以用手机扫描查看、下载打印或存储在 PC 端进行查看和使用。二维码内容主要涵盖以下几方面的内容：即将被废止的旧标准（新标准一旦正式颁布，会及时将二维码内容更新为新标

准的内容);部分推荐产品及参数;其他相关内容。

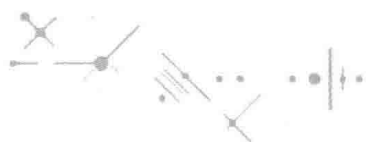
4. 通用性。本手册以通用的机械零部件和控制元器件设计、选用内容为主,主要包括机械设计基础资料、机械制图和几何精度设计、机械工程材料、机械通用零部件设计、机械传动系统设计、液压和气压传动系统设计、机构设计、机架设计、机械振动设计、智能装备系统设计、控制元器件和控制单元等,既适用于传统的通用机械零部件设计选用,又适用于智能化装备的整机系统设计开发,能够满足各类机械设计人员的工作需求。

5. 准确性。本手册尽量采用原始资料,公式、图表、数据力求准确可靠,方法、工艺、技术力求成熟。所有材料、零部件和元器件、产品和工艺方面的标准均采用最新公布的标准资料,对于标准规范的编写,手册没有简单地照抄照搬,而是采取选用、摘录、合理编排的方式,强调其科学性和准确性,尽量避免差错和谬误。所有设计方法、计算公式、参数选用均经过长期检验,设计实例、各种算例均来自工程实际。手册中收录通用性强、标准化程度高的产品,供设计人员在了解企业实际生产品种、规格尺寸、技术参数,以及产品质量和用户的实际反映后选用。

6. 全面性。本手册一方面根据机械设计人员的需要,按照“基本、常用、重要、发展”的原则选取内容,另一方面兼顾了制造企业和大型设计院两大群体的设计特点,即制造企业侧重基础性的设计内容,而大型的设计院、工程公司侧重于产品的选用。因此,本手册力求实现零部件设计与整机系统开发的和谐统一,促进机械设计与控制设计的有机融合,强调产品设计与工艺技术的紧密结合,重视工艺技术与选用材料的合理搭配,倡导结构设计与造型设计的完美统一,以全面适应新时代机械新产品设计开发的需要。

经过广大编审人员和出版社的不懈努力,新版《现代机械设计手册》将以崭新的风貌和鲜明的时代气息展现在广大机械设计工作者面前。值此出版之际,谨向所有给过我们大力支持的单位和各界朋友表示衷心的感谢!

主 编



第 22 篇 智能装备系统设计

第 1 章 智能装备系统设计基础知识

1.1 智能装备系统的定义、特点和发展趋势	22-3
1.2 智能装备系统基本构成要素	22-5
1.2.1 系统构成	22-5
1.2.2 技术构成	22-6
1.2.3 系统分类及特征	22-8
1.3 智能装备系统产品的设计方法	22-9
1.3.1 智能装备系统主要的分析方法	22-9
1.3.1.1 系统的解耦与耦合	22-9
1.3.1.2 系统设计公理	22-10
1.3.1.3 单元化设计原理	22-12
1.3.1.4 智能装备系统的结构层次	22-13
1.3.1.5 智能装备系统的基本分析	22-16
1.3.2 模块化设计方法	22-19
1.3.3 柔性化设计方法	22-19
1.3.4 取代设计方法	22-19
1.3.5 融合设计方法	22-20
1.3.6 优化设计方法	22-20
1.3.7 人-机-环境系统设计方法	22-20
1.3.8 可靠性设计方法	22-21
1.3.9 系统安全性设计方法	22-24
1.4 智能装备系统总体设计	22-25
1.4.1 智能装备产品的需求分析	22-25
1.4.2 智能装备系统设计技术参数与技术指标制定方法	22-25
1.4.3 智能装备系统原理方案设计	22-26
1.4.3.1 系统的原理方案分析	22-26
1.4.3.2 基本功能单元的原理方案分析	22-26
1.4.3.3 系统的功能结构图设计方法	22-27
1.4.4 智能装备系统结构方案设计	22-28
1.4.4.1 系统结构方案设计的程序	22-28
1.4.4.2 系统结构方案设计的基本	

原则	22-29
1.4.5 智能装备系统总体布局设计	22-29
1.4.6 总体准确度分析与设计	22-29
1.5 智能装备系统设计流程	22-30

第 2 章 传感检测系统设计

2.1 传感检测系统	22-33
2.1.1 传感检测系统的概念与特点	22-33
2.1.2 传感检测系统的结构与组成	22-33
2.1.2.1 非电量的特征	22-33
2.1.2.2 传感检测系统的结构	22-34
2.1.2.3 传感检测系统的硬件组成	22-36
2.1.2.4 传感检测系统的软件组成	22-36
2.1.3 传感器信号的处理	22-37
2.1.4 信号传输	22-37
2.2 传感器及其应用	22-38
2.2.1 传感器的组成与分类	22-38
2.2.2 传感器的主要性能指标	22-38
2.2.3 各种用途的常用传感器	22-39
2.2.4 基于各种工作原理的常用传感器	22-43
2.2.4.1 电阻式传感器	22-43
2.2.4.2 电容式传感器	22-48
2.2.4.3 电感传感器	22-51
2.2.4.4 压电传感器	22-58
2.2.4.5 磁电传感器	22-63
2.2.4.6 磁致伸缩传感器	22-65
2.2.4.7 热电式传感器	22-71
2.2.4.8 霍尔式传感器	22-77
2.2.4.9 光纤传感器	22-80
2.2.4.10 光电传感器	22-85
2.2.4.11 红外线传感器	22-91
2.2.4.12 激光式传感器	22-92
2.2.4.13 数字式传感器	22-97
2.2.4.14 气敏传感器	22-101
2.2.5 智能传感器	22-114

2.2.6	微传感器	22-117
2.2.6.1	定义特点及分类	22-117
2.2.6.2	机械量微传感器	22-117
2.2.6.3	基于 MEMS 技术的气体微传感器	22-120
2.2.7	传感器的选用	22-120
2.2.8	多传感器信息融合	22-122
2.3	模拟信号检测系统设计	22-124
2.3.1	模拟信号检测系统的组成	22-124
2.3.2	基本转换电路	22-125
2.3.3	信号放大电路	22-127
2.3.4	信号调制与解调	22-130
2.3.5	滤波电路	22-131
2.3.6	电平转换电路	22-133
2.3.7	采样-保持电路	22-133
2.3.8	运算电路	22-133
2.3.9	A/D 转换电路	22-136
2.3.10	数字信号的预处理	22-137
2.3.11	抗干扰设计	22-142
2.4	数字信号检测系统设计	22-144
2.4.1	数字信号检测系统的组成	22-144
2.4.2	编码器及光栅信号的电子细分方法	22-145
2.5	现代传感检测技术的新发展	22-150
2.6	典型传感系统设计应用实例和检测装置	22-152
2.6.1	CX300 型数控车铣加工中心传感检测系统设计实例	22-152
2.6.2	飞锯检测系统设计实例	22-153
2.6.3	新风节能系统设计实例	22-156

第 3 章 伺服系统设计

3.1	伺服系统	22-159
3.2	伺服系统的基本要求和设计方法	22-159
3.2.1	伺服系统的基本要求	22-159
3.2.2	伺服系统的设计步骤	22-160
3.3	伺服系统执行元件及其控制	22-160
3.3.1	执行元件种类和特点	22-160
3.3.2	电气执行元件	22-161
3.3.2.1	直流伺服电机及其驱动	22-161
3.3.2.2	交流伺服电机及其驱动	22-163
3.3.2.3	松下 MINAS A5 伺服电机	22-165
3.3.2.4	步进电机及其驱动	22-170
3.3.3	液压执行机构	22-176
3.3.4	气动执行装置	22-176

3.3.5	新型执行装置	22-177
3.3.6	电液伺服阀	22-177
3.3.7	电液比例阀	22-178
3.3.8	电液数字阀	22-178
3.4	执行电机的选择及设计	22-179
3.4.1	交流电动机调速方式	22-179
3.4.2	交流变频调速器	22-180
3.5	开环控制伺服系统及其设计	22-181
3.6	闭环伺服系统设计	22-182
3.7	数字伺服系统的设计	22-183

第 4 章 机械系统设计

4.1	智能装备机械系统的基本要求和组成	22-185
4.2	机械传动机构设计	22-186
4.2.1	机械传动机构的分类及选用	22-186
4.2.1.1	智能装备系统对机械传动的要求	22-186
4.2.1.2	机械传动机构的分类	22-187
4.2.1.3	机械传动机构的选用	22-188
4.2.1.4	机械传动系统方案的选择	22-188
4.2.2	传动因素分析	22-189
4.2.3	丝杠螺母机构传动设计	22-191
4.2.3.1	滚珠丝杠副基本结构	22-191
4.2.3.2	滚珠丝杠副的主要尺寸和精度等级	22-201
4.2.3.3	滚珠丝杠副的选择设计计算	22-205
4.2.3.4	滚珠螺母安装连接尺寸	22-210
4.2.3.5	静压丝杠螺母副	22-217
4.2.4	其他传动机构	22-219
4.2.4.1	齿轮传动	22-219
4.2.4.2	挠性传动	22-224
4.2.4.3	间歇传动	22-225
4.3	机械导向机构设计	22-227
4.4	机械执行机构设计	22-232
4.4.1	执行机构分析	22-232
4.4.1.1	主要性能指标	22-232
4.4.1.2	系统的品质	22-235
4.4.1.3	能量转换接口	22-238
4.4.2	微动机构	22-240
4.4.3	误差补偿机构	22-244
4.4.4	定位机构	22-246
4.4.5	设计实例	22-247
4.4.5.1	数控机床动力卡盘与回转	

刀架	22-247
4.4.5.2 工业机器人末端执行器	22-250
4.5 支撑系统和机架设计	22-252
4.5.1 轴系设计的基本要求及类型	22-252
4.5.2 机架的基本要求及结构设计 要点	22-254

第5章 微机控制系统设计

5.1 微机控制系统的基本组成与分类	22-258
5.1.1 微机控制系统的基本组成	22-258
5.1.1.1 微机控制系统的硬件组成	22-258
5.1.1.2 微机控制系统的软件组成	22-259
5.1.2 微机控制系统的分类	22-259
5.2 微机控制系统设计的方法和步骤	22-260
5.2.1 模拟化设计方法和步骤	22-260
5.2.1.1 模拟化设计思想	22-260
5.2.1.2 香农采样定理	22-260
5.2.1.3 模拟化设计步骤	22-261
5.2.1.4 数字PID控制系统设计	22-262
5.2.2 离散化设计方法和步骤	22-265
5.3 微机控制系统的数学模型	22-265
5.3.1 差分方程	22-265
5.3.1.1 差分的概念和差分方程	22-265
5.3.1.2 差分方程的求解方法	22-266
5.3.2 Z传递函数	22-266
5.3.2.1 基本概念	22-266
5.3.2.2 开环系统的脉冲传递函数	22-266
5.4 微机控制系统分析	22-268
5.4.1 线性离散系统的时域响应分析	22-268
5.4.2 离散系统的稳定性分析	22-269
5.4.2.1 Z平面内的稳定条件	22-269
5.4.2.2 S平面与Z平面之间的映射 关系	22-269
5.4.2.3 稳定判据	22-270
5.4.3 离散系统的稳态误差	22-270
5.4.4 离散系统的暂态性能	22-271
5.4.4.1 闭环极点与暂态分量的 关系	22-271
5.4.4.2 离散系统暂态性能的估算	22-272
5.4.5 离散系统的根轨迹分析法	22-273
5.4.5.1 Z平面上的根轨迹	22-273
5.4.5.2 用根轨迹法分析离散系统	22-275
5.4.6 离散系统的频率法	22-275
5.5 典型微机控制系统及设计应用实例	22-276
5.5.1 基于工业控制计算机的微机控制	

系统	22-276
5.5.1.1 系统结构和特点	22-276
5.5.1.2 工控组态软件	22-276
5.5.2 基于单片机的微机控制系统	22-276
5.5.3 基于可编程控制器的微机控制 系统	22-276

第6章 接口设计

6.1 接口设计基本方法和接口芯片	22-278
6.1.1 接口设计与分析的基本方法	22-278
6.1.2 常用的接口芯片	22-278
6.2 人机接口电路设计	22-278
6.2.1 人机接口电路类型与特点	22-278
6.2.2 输入接口电路设计	22-279
6.2.3 输出接口电路设计	22-280
6.3 机电接口电路设计	22-290
6.3.1 机电接口电路类型与特点	22-290
6.3.2 信号采集通道接口中的A/D转换 接口电路设计	22-290
6.3.3 控制量输出通道中的D/A转换 接口电路设计	22-292
6.3.4 控制量输出通道中的功率接口 电路设计	22-294
6.3.4.1 PWM整流电路	22-294
6.3.4.2 光耦合器驱动接口设计	22-296
6.3.4.3 继电器	22-298
6.3.5 被控量反馈通道中的接口电路 设计	22-301
6.3.5.1 速度反馈接口	22-301
6.3.5.2 位移反馈接口	22-301

第7章 设计实例

7.1 数控机床的改造	22-304
7.1.1 数控车床的改造	22-304
7.1.1.1 数控车床的改造方案组成 框图	22-304
7.1.1.2 机械结构改造设计方案	22-304
7.1.1.3 数控车床计算机控制系统改造 硬件设计	22-307
7.1.1.4 数控车床计算机控制系统改造 软件设计	22-312
7.1.2 大型数控落地镗铣床的系统改造 实例	22-312
7.2 工业机器人系统设计实例	22-314

7.2.1 工业机器人的组成与分类	22-314	7.4 信函连续作业自动处理系统设计	22-343
7.2.2 SCARA 型装配机器人系统设计	22-314	7.4.1 信函自动处理流水线	22-344
7.2.3 BJD-1 型机器人设计	22-319	7.4.1.1 信函自动处理流水线的组成	22-344
7.2.4 缆索并联机器人设计	22-323	7.4.1.2 信函自动处理的前提条件	22-345
7.3 无人搬运车 (AGV) 系统设计	22-327	7.4.2 信函分类机	22-345
7.3.1 无人搬运车系统 (AGVS)	22-327	7.4.3 缓冲储存器	22-347
7.3.2 无人搬运车的工作原理和结构	22-330	7.4.4 理信盖销机	22-349
7.3.2.1 无人搬运车的引导方式	22-330	7.4.5 信函分拣机	22-352
7.3.2.2 无人搬运车的结构	22-331	7.4.5.1 信函分拣的同步入格控制	22-352
7.3.3 典型的无人搬运车	22-333	7.4.5.2 条形码及光学条码自动识别	22-352
7.3.3.1 瑞典 AGV 电子有限公司的产品	22-333	7.4.5.3 光学文字自动识别	22-355
7.3.3.2 美国 AGV 产品有限公司的产品	22-335		
7.3.3.3 中国新松 AGV 产品	22-338	参考文献	22-360

第 23 篇 工业机器人系统设计

第 1 章 工业机器人技术基础

1.1 工业机器人定义	23-3
1.2 工业机器人组成	23-3
1.2.1 操作机	23-3
1.2.2 控制器	23-6
1.2.3 示教器	23-8
1.2.4 驱动系统	23-8
1.2.5 传感器	23-10
1.3 视觉技术	23-10
1.4 工业机器人主要性能参数	23-11
1.5 工业机器人基本术语	23-13
1.5.1 有关机械结构和性能的术语	23-13
1.5.2 有关控制和安全的术语	23-14
1.6 工业机器人分类	23-15
1.6.1 按结构特征划分	23-15
1.6.2 按控制方式划分	23-16
1.6.3 按驱动方式划分	23-17
1.6.4 按应用领域划分	23-17
1.7 工业机器人应用和发展趋势	23-19

第 2 章 机器人运动学与动力学

2.1 数理基础	23-22
2.1.1 位置描述	23-22
2.1.2 方位描述	23-22
2.1.3 位姿描述	23-23

2.2 坐标变换	23-23
2.2.1 平移坐标变换	23-23
2.2.2 旋转坐标变换	23-23
2.3 齐次坐标变换	23-24
2.3.1 齐次变换	23-24
2.3.2 平移齐次坐标变换	23-24
2.3.3 旋转齐次坐标变换	23-24
2.4 物体的变换及逆变换	23-25
2.4.1 物体位置描述	23-25
2.4.2 齐次变换的逆变换	23-25
2.4.3 变换方程初步	23-26
2.5 通用旋转变换	23-26
2.5.1 通用旋转变换公式	23-26
2.5.2 等效转角与转轴	23-27
2.6 机器人运动学	23-28
2.6.1 机器人运动方程的表示	23-28
2.6.1.1 运动姿态和方向角	23-28
2.6.1.2 运动位置和坐标	23-30
2.6.1.3 连杆变换矩阵及其乘积	23-31
2.6.2 机械手运动方程的求解	23-32
2.6.2.1 欧拉变换解	23-32
2.6.2.2 滚、仰、偏变换解	23-34
2.6.2.3 球面变换解	23-34
2.7 机器人动力学	23-35
2.7.1 刚体动力学	23-35
2.7.1.1 刚体的动能与位能	23-35
2.7.1.2 动力学方程的两种求法	23-36
2.7.2 机械手动力学方程	23-39

2.7.2.1 速度的计算	23-39
2.7.2.2 动能和位能的计算	23-40
2.7.2.3 动力学方程的推导	23-42



第3章 工业机器人本体

3.1 概述	23-44
3.1.1 工业机器人的本体结构	23-44
3.1.2 工业机器人本体的发展趋势	23-45
3.2 工业机器人自由度与坐标形式	23-46
3.2.1 工业机器人的自由度	23-46
3.2.2 工业机器人本体的运动副	23-46
3.2.3 工业机器人运动坐标形式	23-48
3.2.4 工业机器人的主要构型	23-48
3.3 工业机器人工作空间与结构尺寸	23-50
3.3.1 机器人工作空间	23-50
3.3.2 确定工作空间的几何法	23-51
3.3.3 工作空间与机器人结构尺寸的关系	23-51
3.4 机器人结构优化	23-51
3.4.1 结构优化的目的	23-51
3.4.2 位置结构的优化设计	23-51
3.4.3 要求使工作空间最小的优化设计	23-52
3.4.4 要求使工作空间最大的优化设计	23-52
3.5 机器人整机设计原则和方法	23-52
3.5.1 机器人整机设计原则	23-52
3.5.2 机器人本体设计步骤	23-53
3.6 机器人的机械结构	23-54
3.6.1 腰部结构	23-54
3.6.2 臂部结构	23-55
3.6.3 腕部结构	23-57
3.6.4 末端执行器结构	23-58
3.6.5 工业机器人的运动传动机构	23-58
3.6.6 工业机器人的移动机构	23-63
3.6.7 SCARA	23-65
3.6.8 并联机器人	23-66
3.6.9 AGV	23-67
3.7 刚度、强度计算及误差分配	23-69
3.7.1 机器人刚度计算	23-69
3.7.2 机器人本体强度计算	23-69
3.7.3 机器人本体连杆参数误差分配	23-69



第4章 工业机器人控制系统

4.1.3 工业机器人的控制方式	23-71
4.1.4 工业机器人控制系统达到的功能	23-71
4.1.5 工业机器人控制系统的特点	23-71
4.2 工业机器人先进控制技术和方法	23-71
4.2.1 自适应控制	23-72
4.2.2 滑模变结构控制	23-72
4.2.3 鲁棒控制	23-72
4.2.4 智能控制	23-72
4.3 机器人控制系统分类	23-73
4.3.1 集中式控制系统 CCS	23-73
4.3.2 分布式控制系统 DCS	23-73
4.4 机器人控制系统设计	23-74
4.4.1 控制系统结构	23-74
4.4.2 下位机控制系统的设计	23-75
4.4.3 示教盒从机的设计	23-76
4.5 机器人典型控制方法	23-76
4.5.1 机器人 PID 控制	23-76
4.5.1.1 机器人独立 PD 控制	23-76
4.5.1.2 基于重力补偿的机器人 PD 控制	23-77
4.5.1.3 机器人鲁棒自适应 PD 控制	23-77
4.5.2 滑模控制	23-78
4.5.2.1 工作原理	23-79
4.5.2.2 滑模控制设计流程	23-79
4.5.2.3 机械手滑模鲁棒控制	23-80
4.5.2.4 基于计算力矩法的滑模控制	23-81
4.5.2.5 基于输入输出稳定性理论的滑模控制	23-82
4.5.3 自适应控制	23-83
4.5.3.1 自适应控制系统	23-83
4.5.3.2 自适应控制系统类型	23-83
4.5.3.3 自适应机器人	23-84
4.5.3.4 自适应控制常用的控制器	23-84
4.5.4 模糊控制	23-86
4.5.4.1 基本原理	23-86
4.5.4.2 模糊控制规则生成	23-87
4.5.4.3 规则形式	23-87
4.5.4.4 Fuzzy-PID 复合控制	23-87
4.5.5 机器人顺应控制	23-88
4.5.5.1 概述	23-88
4.5.5.2 被动式顺应控制	23-88
4.5.5.3 主动式顺应控制	23-89
4.5.6 位置和力控制	23-89
4.5.6.1 位置控制	23-89
4.5.6.2 力控制	23-89
4.5.6.3 位置和力的混合控制	23-92
4.1 概述	23-70
4.1.1 工业机器人控制系统的特点	23-70
4.1.2 工业机器人控制系统的主要功能	23-70

4.5.6.4	R-C 控制器	23-92
4.5.6.5	改进的 R-C 力和位置混合控制	23-93
4.6	控制系统硬件构成	23-94
4.6.1	机器人控制系统硬件组成	23-94
4.6.2	机器人控制系统结构	23-94
4.6.3	机器人控制器	23-96
4.7	控制系统软件构成	23-97
4.7.1	程序数据建立	23-97
4.7.1.1	初识程序数据	23-97
4.7.1.2	程序数据的类型与分类	23-97
4.7.1.3	关键的程序数据	23-98
4.7.2	RAPID 程序创建	23-98
4.7.2.1	程序模块与例行程序	23-98
4.7.2.2	RAPID 控制指令	23-98
4.8	机器人常用编程语言	23-99



第 5 章 工业机器人驱动系统

5.1	概述	23-100
5.2	机器人驱动系统特点	23-100
5.2.1	基本驱动系统的特点	23-100
5.2.2	电液伺服驱动系统的特点	23-100
5.3	电动驱动系统	23-100
5.3.1	同步式交流伺服电动机及驱动器	23-101
5.3.1.1	交流伺服电动机分类和特点	23-102
5.3.1.2	交流同步伺服电动机	23-104
5.3.1.3	应用举例: 工业机器人伺服电动机行业测试解决方案——MPT1000	23-104
5.3.2	步进电动机及驱动器	23-105
5.3.2.1	概述	23-105
5.3.2.2	驱动方式	23-107
5.3.2.3	步进电动机驱动板说明	23-108
5.3.2.4	步进电动机及步进驱动器配套选型	23-109
5.3.3	直流伺服电动机及驱动器	23-109
5.3.3.1	直流伺服电动机的特点	23-110
5.3.3.2	直流伺服电动机的工作原理	23-110
5.3.3.3	工作特性	23-111
5.3.3.4	直流伺服电动机调速原理	23-112
5.3.3.5	直流伺服电动机特点及应用范围	23-115

5.3.4	直接驱动电动机	23-115
5.3.4.1	直线电动机工作原理	23-116
5.3.4.2	直线电动机的特点	23-117
5.3.4.3	直线电动机的分类	23-118
5.3.4.4	力矩电动机工作原理、特点及分类	23-118
5.3.4.5	直流驱动电动机应用实例	23-119
5.4	电液伺服驱动系统	23-120
5.4.1	系统组成	23-121
5.4.2	特点	23-121
5.4.3	工作原理	23-121
5.4.4	要求	23-121
5.4.5	设计步骤	23-121
5.4.6	液压系统及其在机器人驱动与控制中的应用	23-122
5.5	气动驱动系统	23-122
5.5.1	气动驱动系统构件	23-122
5.5.2	气动比例控制系统	23-123
5.5.2.1	气动比例控制系统组成	23-123
5.5.2.2	MPYE 型伺服阀	23-123
5.5.3	控制原理	23-124
5.5.4	控制应用	23-124
5.5.4.1	张力控制	23-124
5.5.4.2	加压控制	23-124
5.5.4.3	位置和力控制	23-124
5.5.5	气动系统在机器人驱动与控制中的应用	23-125
5.5.5.1	气动系统在机器人中应用的优势	23-125
5.5.5.2	气动机器人的适合场合	23-125
5.5.5.3	气动机器人技术应用进展	23-125
5.5.5.4	气动机器人应用	23-126



第 6 章 工业机器人常用传感器

6.1	概述	23-128
6.1.1	传感器定义及指标	23-128
6.1.2	机器人的感觉策略	23-128
6.1.3	机器人传感器的分类	23-129
6.1.4	传感器选用原则	23-130
6.2	内传感器	23-131
6.2.1	规定位置/角度的检测	23-131
6.2.2	位置和角度的检测	23-132
6.2.3	速度和角速度的检测	23-135
6.2.4	加速度和角加速度的测量	23-136
6.2.5	姿态角的检测	23-138

6.3 外传感器	23-140
6.3.1 视觉传感器	23-140
6.3.2 触觉传感器	23-144
6.3.3 力觉传感器	23-147
6.3.4 接近觉传感器	23-150
6.3.5 长距离传感器	23-152
6.3.6 听觉传感器	23-154
6.3.7 其他相关传感器	23-155



第7章 机器人视觉技术

7.1 概述	23-157
7.1.1 应用背景	23-157
7.1.2 发展现状	23-157
7.1.3 视觉伺服关键技术问题	23-158
7.2 机器人视觉系统组成	23-160
7.2.1 机器人视觉系统的分类	23-160
7.2.1.1 视觉伺服系统的分类	23-160
7.2.1.2 全向视觉系统分类	23-161
7.2.2 机器人视觉伺服控制系统的组成	23-162
7.2.3 镜头和视觉传感器	23-163
7.2.3.1 针孔摄像机	23-163
7.2.3.2 高斯光学	23-163
7.2.3.3 远心镜头	23-165
7.2.3.4 视觉传感器	23-166
7.3 单目视觉	23-168
7.3.1 单目摄像机标定	23-168
7.3.2 单目视觉的位置测量	23-169
7.3.3 单目视觉定位方法	23-170
7.3.3.1 基于单帧图像的定位方法	23-170
7.3.3.2 基于双帧或多帧图像的定位	23-171
7.4 双目视觉	23-171
7.4.1 双目立体视觉原理	23-171
7.4.2 双目立体视觉的精度分析	23-173
7.4.3 双目立体视觉的系统结构	23-174
7.4.3.1 基于两个摄像机的双目系统结构	23-175
7.4.3.2 基于单个摄像机的双目系统结构	23-175
7.4.4 双目立体视觉中的极线几何	23-176
7.4.5 双目立体视觉中的对应点匹配	23-177
7.4.5.1 图像匹配的常用方法	23-177
7.4.5.2 已知极线几何的对应点匹配方法	23-178

7.4.5.3 未知极线几何的对应点匹配方法	23-179
7.4.6 双目视觉系统标定	23-181
7.4.6.1 双目立体视觉常规标定方法	23-181
7.4.6.2 基于标准长度的标定方法	23-181
7.5 机器人二维视觉信息处理	23-182
7.5.1 数字化处理	23-182
7.5.1.1 采样	23-182
7.5.1.2 量化	23-182
7.5.2 编码压缩	23-183
7.5.2.1 压缩的原理	23-183
7.5.2.2 编码分类	23-183
7.5.3 图像增强和复原	23-183
7.5.3.1 图像增强	23-183
7.5.3.2 图像复原	23-187
7.5.4 图像分割	23-187
7.5.4.1 阈值化	23-187
7.5.4.2 基于边缘的分割	23-187
7.5.4.3 基于区域的分割	23-188
7.5.5 形态学处理	23-188
7.5.5.1 二值形态学	23-188
7.5.5.2 灰度形态学	23-189
7.5.6 特征提取	23-190
7.5.6.1 特征的定义与分类	23-190
7.5.6.2 特征选取的准则	23-191
7.5.6.3 基本纹理特征	23-191
7.5.7 模式识别	23-192
7.5.7.1 模式与模式识别	23-192
7.5.7.2 统计模式识别	23-193
7.5.7.3 句法模式识别	23-193
7.6 机器人三维视觉信息处理	23-195
7.6.1 三维重建	23-195
7.6.1.1 被动式三维重建技术	23-195
7.6.1.2 主动式三维重建技术	23-196
7.6.2 基于深度传感器的三维重建流程	23-198
7.6.2.1 相关概念	23-198
7.6.2.2 具体流程	23-200
7.7 机器人视觉技术应用	23-203
7.7.1 消防机器人视觉感知技术	23-203
7.7.2 基于机器视觉的工业机器人分拣技术	23-203
7.7.3 苹果采摘机器人视觉感知技术	23-205



第8章 工业机器人典型应用

8.1 焊接机器人	23-207
8.1.1 焊接机器人的分类及特点	23-207
8.1.2 焊接机器人的系统组成	23-208
8.1.2.1 点焊机器人	23-208
8.1.2.2 弧焊机器人	23-209
8.1.2.3 激光焊接机器人	23-210
8.1.3 焊接机器人的周边设备与布局	23-210
8.1.3.1 周边设备	23-210
8.1.3.2 工位布局	23-212
8.1.4 焊接机器人应用案例	23-213
8.1.4.1 点焊机器人应用案例	23-213
8.1.4.2 弧焊机器人应用案例	23-213
8.1.4.3 激光焊接机器人应用案例	23-213
8.2 搬运机器人	23-213
8.2.1 搬运机器人的分类及特点	23-213
8.2.2 搬运机器人的系统组成	23-214
8.2.3 搬运机器人的周边设备与工位布局	23-214
8.2.3.1 周边设备	23-214
8.2.3.2 工位布局	23-215
8.2.4 搬运机器人应用实例	23-215
8.3 码垛机器人	23-215
8.3.1 码垛机器人分类及特点	23-215
8.3.2 码垛机器人的系统组成	23-215
8.3.3 码垛机器人的周边设备和工位布局	23-216
8.3.3.1 周边设备	23-216
8.3.3.2 工位布局	23-217
8.3.4 码垛机器人应用实例	23-218
8.4 装配机器人	23-218
8.4.1 装配机器人分类及特点	23-218
8.4.2 装配机器人的系统组成	23-219
8.4.3 装配机器人的周边设备和工位布局	23-220
8.4.3.1 周边设备	23-220
8.4.3.2 工位布局	23-220
8.4.4 装配机器人应用实例	23-220
8.5 涂装机机器人	23-220
8.5.1 涂装机机器人分类及特点	23-220
8.5.2 涂装机机器人的系统组成	23-221
8.5.3 涂装机机器人的周边设备和工位布局	23-221
8.5.3.1 周边设备	23-222
8.5.3.2 工位布局	23-222
8.5.4 涂装机机器人应用实例	23-222
8.6 打磨抛光机器人	23-222
8.6.1 打磨抛光机器人分类及特点	23-222
8.6.2 打磨抛光机器人的系统组成	23-223
8.6.3 打磨抛光机器人的周边设备和工位布局	23-224
8.6.3.1 周边设备	23-224
8.6.3.2 工位布局	23-225
8.6.4 打磨抛光机器人应用实例	23-225
8.7 协作机器人	23-225
8.7.1 协作机器人定义和特点	23-226
8.7.2 协作机器人的典型产品	23-226
参考文献	23-228



第24篇 传感器



第1章 传感器的名词术语和评价指标

1.1 传感器的通用术语	24-3
1.1.1 传感器一般分类术语	24-3
1.1.2 物理量传感器术语	24-5
1.1.2.1 力学量传感器	24-5
1.1.2.2 热学量传感器	24-8
1.1.2.3 其他物理量传感器	24-9
1.2 传感器命名法及代码	24-10
1.2.1 传感器命名方法	24-10
1.2.1.1 命名法的构成	24-10
1.2.1.2 命名法范例	24-10
1.2.2 传感器代号标记方法	24-11
1.2.2.1 传感器代号的构成及意义	24-11
1.2.2.2 传感器代号标记示例	24-13
1.3 传感器特性及相关术语	24-16
1.4 传感器主要静态性能指标计算方法	24-22
1.4.1 基本术语和静态性能指标的定义	24-22
1.4.1.1 基本术语	24-22
1.4.1.2 静态性能指标的定义	24-23
1.4.2 静态校准特性的建立	24-25
1.4.2.1 静态校准的一般要求	24-25
1.4.2.2 静态校准特性的计算	24-25