



现代 机械设计手册

第5卷

秦大同 谢里阳 主编

MODERN

HAND
OF ME
DI



化学工业出版社



现代 机械设计手册

第5卷

秦大同 谢里阳 主编

MODERN

HANDBOOK
OF MECHANICAL DESIGN



化学工业出版社

·北京·

《现代机械设计手册》从新时期机械设计人员的实际需要出发,追求现代感,兼顾实用性、通用性、准确性,在广泛吸纳国内工具书优点的基础上,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、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》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;第3卷包括带、链传动,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卷包括光机电一体化系统设计,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,反求设计,数字化设计,人机工程与产品造型设计,创新设计。

《现代机械设计手册》可作为机械设计人员和有关工程技术人员工具书,也可供高等院校有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.
北京: 化学工业出版社, 2011. 1
ISBN 978-7-122-08706-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 168512 号

责任编辑: 张兴辉 王 烨 贾 娜
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 张绪瑞 陈 喆
装帧设计: 尹琳琳

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 93 1/4 字数 2944 千字 2011 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 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: 150.00 元

版权所有 违者必究

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)

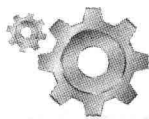
卷	篇	篇主编	撰 稿	审 稿
第1卷	第1篇	化学工业出版社组织编写	张红燕 刘 梅 李 翔 董 敏	王建军
	第2篇	翟文杰 (哈尔滨工业大学)	翟文杰	王连明
	第3篇	韩宝玲 (北京理工大学)	韩宝玲 佟献英 罗庆生 樊红亮 周年发 杨 威 罗 霄	刘巽尔 董国耀
	第4篇	方昆凡 (东北大学)	崔虹雯 单宝峰 赵新颖 方昆凡 周文娟 吴文虎 张茵麦 程 铭	魏小鹏
	第5篇	王三民 (西北工业大学)	王三民 袁 茹 谷文韬 李洲洋 宁方立	沈允文
第2卷	第6篇	吴立言 (西北工业大学)	刘 岚 李洲洋 吴立言	陈作模
	第7篇	郭宝霞 (洛阳轴承研究所 有限公司)	郭宝霞 周 宇 勇泰芳 张小玲 张 松 蒋明夫	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	朱 均
	第9篇	翟文杰 (哈尔滨工业大学) 王 瑜 (哈尔滨工业大学)	翟文杰 王 瑜 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	陈照波
	第11篇	李瑰贤 (哈尔滨工业大学)	李瑰贤 赵永强 陈照波 刘文涛 唐德威 于红英 胡 明 韩继光 闫 辉 林 琳 丁 刚 张一同	李瑰贤 陈 明
	第12篇	向敬忠 (哈尔滨理工大学)	向敬忠 潘承怡 宋 欣	于惠力
第3卷	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 王世刚	曲建俊 郭建华
	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)	孙冬野 刘振军 秦大同 廖映华	吴晓铃
	第16篇	刘光磊 (西北工业大学)	刘光磊 朱春梅	孔庆堂
	第17篇	吴晓铃 (郑州大学)	吴晓铃 袁丽娟 郭宝霞	陈大融
	第18篇	郝木明 (中国石油大学) 吴晓铃 (郑州大学)	郝木明 王淮维 孙鑫晖	陈大融

第4卷

第5卷

第6卷

卷	篇	篇主编	撰 稿				审稿
第4卷	第19篇	马文星 (吉林大学) 杨乃乔 (北京起重运输机械 设计研究院)	马文星 邓洪超 徐 辉 仵晓强 王 涛 卢秀泉 李雪松	杨乃乔 曹晓宁 宋 斌 吴根生 何延东 范丽丹	邓 菲 王宏卫 刘春宝 才 委 柴博森 侯继海	邹铁汉 潘志勇 郑广强 熊以恒 姜丽英 张 浦	方佳雨 刘春朝 刘伟辉
	第20篇	吴晓明 (燕山大学)	刘 涛 赵静一	吴晓明 高殿荣	张 伟 张齐生		姚晓先 吴晓明
	第21篇	包 钢 (哈尔滨工业大学) 杨庆俊 (哈尔滨工业大学)	包 钢 王 涛	杨庆俊 陈金兵	向 东 王雄耀	张百海	熊 伟
第5卷	第22篇	郝长中 (沈阳理工大学)	郝长中 高启扬	王铁军	吴东生	杨 青	于国安
	第23篇	张洪亭 (东北大学)	张洪亭	王明赞	李 佳	孙红春	贾民平 王明赞
	第24篇	王 洁 (沈阳工业大学)	王 洁 孙洪林	王野牧 张 靖	谷艳玲	杨国哲	徐 方 刘 洲 褚明杰 曲业闯 郑春辉 赵 强
第6卷	第25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26篇	孟 光 (上海交通大学) 吴天行 (上海交通大学)	孟 光 李增光 张志谊 塔 娜 李富才 万 泉	吴天行 龙新华 饶柱石 刘树英 张海滨 杨斌堂	雷 敏 华宏星 荆建平 静 波 蒋伟康 焦素娟	张瑞华 李 俊 张文明 韩雪华 严 莉 湛 勇	胡宗武
	第27篇	谢里阳 (东北大学)	谢里阳	王 雷			赵少汴
	第28篇	谢里阳 (东北大学)	谢里阳	钱文学	吴宁祥		孙志礼
	第29篇	何雪波 (东北大学)	何雪波	张 翔	张瑞金		颜云辉
	第30篇	隋天中 (东北大学)	隋天中				郝永平
	第31篇	李卫民 (辽宁工业大学)	李卫民 于晓丹	刘淑芬 邢 颖	仪登丽	潘 静	刘永贤
	第32篇	曾 红 (辽宁工业大学)	曾 红	陈 明			刘永贤
	第33篇	赵新军 (东北大学)	赵新军	钟 莹	孙晓枫		李赤泉



振兴装备制造业是中国由机械制造大国走向机械制造强国的必由之路。近年来,在国家大力发展装备制造业的政策号召和驱使下,我国的机械工业获得了巨大的发展,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。

但是,总体来看,我国的装备制造业仍处于较低的水平,距离世界发达国家还有很大的差距。机械设计是装备制造的龙头,是装备制造过程中的核心环节,因此全面提升我国机械设计人员的设计能力和技术水平非常关键。近年来,各种先进技术在机械行业的应用和发展,正在使机械设计的传统内涵发生巨大变化,这就给广大机械设计人员提出了更高的要求:一方面,当前先进的、现代化的机械装备都是机、电、液、光等技术的有机结合体,尤其是控制技术、信息技术、网络技术的发展和运用,使得设备越来越智能化、现代化,这已经成为现代机械设计的发展方向 and 趋势,如何实现这些技术的有机融合将至关重要;另一方面,各种现代的机械设计方法,已经突破前些年的理论研究阶段,正逐步应用于设计、生产实际,越来越发挥其重要的作用;还有,随着计算机硬件性能和软件水平的持续提高,计算机技术已全面深入地渗透到机械领域,各种设计技术、计算技术、设计工具在机械设计与制造中的广泛应用,使得设计人员的创造性思维得到前所未有的解放,设计手段极大丰富。

伴随着这些变化,传统的机械设计资料、机械设计工具书已逐渐呈现出诸多不足,不能完全满足新时期机械设计人员的实际工作需要。针对这种情况,化学工业出版社顺应时代发展的要求,在对高等院校、科研院所、制造企业的科研工作者和机械设计人员进行广泛调研的基础上,邀请众多国内机械设计界的知名专家合力编写了一套全新的、符合现代机械设计潮流的大型工具书——《现代机械设计手册》,这是一项与时俱进、有重大意义的创新工程,对推动我国机械设计技术的发展将发挥重要的作用。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》荣获2009年国家出版基金资助。

化学工业出版社在机械设计大型工具书的出版方面历史悠久、经验丰富,深得广大机械设计人员和工程技术人员的信赖。为了扎实、高效地进行《现代机械设计手册》编写和出版工作,化学工业出版社组织召开了多次编写和审稿工作会议,充分考虑读者在手册使用上的特点和需求,确定了手册的整体构架、篇目设置、编写原则和风格,针对编写大纲进行了充分细致的研讨,对书稿内容的编、审工作进行了细致周密的安排,确保了整部手册的内容质量和工作进度。

《现代机械设计手册》的定位不同于一般技术手册,更不同于一般学习型的技术图书,



它是一部合理收集取舍、科学编排通用机械设计常用资料，符合现代机械设计潮流的综合性手册。具体来说，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，获得过多项科技进步奖、发明奖和技术专利，承担了诸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，满足时代的要求，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、新结构、新工艺、新产品、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。在体现现代元素的同时，也不是一味求新，而是收录目前已经普遍得到大家公认的、成熟的、实用的技术、方法、结构和产品。《现代机械设计手册》注意传统设计与现代设计的融合，注重机、电设计的有机结合，注重实用性的同时兼顾最新的研究应用成果。

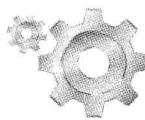
在新技术方面，许多零部件的设计内容都兼顾了当前高新技术装备的设计，例如第13篇“带、链传动”介绍了金属带等新型的传动方式，第14篇“齿轮传动”收录了新型锥齿轮、塑料齿轮的设计和应用，第8篇“滑动轴承”收录了气体润滑轴承、箔片轴承、电磁轴承等新型轴承的设计和应用，第4篇“机械工程材料”收录了复合材料等目前已广泛应用的一些新型工程材料。

在现代设计手段的应用方面，例如机械零部件设计部分，注重现代设计方法（例如有限元分析、可靠性设计等）在机械零部件设计中的应用，并给出了相应的设计实例；第11篇“机构”篇中，平面机构的运动分析通过计算机编程来实现，并提供了相应的程序代码，大大提高了分析的准确性和设计效率；在产品的设计和选择方面，推荐了应用广泛的、节能的、可靠的产品。

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 ★★★★★

即选编机械设计人员实际需要的内容。手册内容的选定、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。例如第5卷机电控制设计中，完全站在机械设计人员的角度来写——注重产品如何选用，摒弃了控制的基本原理，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摒弃或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和查阅,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使用和查阅,有利于提高设计人员的工作效率和设计速度。

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,不包括具体的专业机械设计的内容。主要包括机械设计基础资料、机械通用零部件设计、机械传动系统设计、液力液压和气压传动系统设计与控制、机构设计、机架设计、机械振动设计、光机电一体化系统设计以及控制设计等,能够满足各类机械设计人员的工作需求。

5. 准确性 ★★★★★

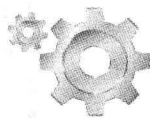
本手册尽量采用原始资料,公式、图表、数据准确,方法、工艺、技术成熟。所有产品、材料和工艺方面的标准均采用最新公布的标准资料,对于标准规范的编写,手册没有简单地照抄照搬,而是采取选用、摘录、合理编排的方式,强调其科学性和准确性,尽量避免差错和谬误。所有设计方法、计算公式、参数选用均经过长期检验,设计实例、各种算例均来自工程实际。手册中收录通用性强的、标准化程度高的产品,供设计人员在了解企业实际生产品种、规格尺寸、技术参数,以及产品质量和用户的实际反映后选用。

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。本手册强调产品设计与工艺技术的紧密结合,倡导结构设计与造型设计的有机统一,重视工艺技术与选用材料的合理搭配,使产品设计更加全面和可行。

三年多来,经过广大编审人员和出版社的不懈努力,《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们表示衷心的感谢!

主编



CONTENTS 目录



第 22 篇 光机电一体化系统设计

第 1 章 光机电一体化系统设计基础

1.1 光机电一体化系统的定义、特点和发展趋势	22-3
1.2 光机电一体化基本构成要素	22-4
1.2.1 系统构成	22-4
1.2.2 技术构成	22-5
1.2.3 系统分类及特征	22-7
1.3 光机电一体化产品的设计方法	22-8
1.3.1 光机电一体化系统主要的分析方法	22-8
1.3.1.1 系统的解耦与耦合	22-8
1.3.1.2 系统设计公理	22-9
1.3.1.3 单元化设计原理	22-12
1.3.1.4 光机电一体化系统的结构层次	22-12
1.3.1.5 光机电一体化系统的基本分析	22-14
1.3.2 模块化设计方法	22-17
1.3.3 柔性化设计方法	22-17
1.3.4 取代设计方法	22-18
1.3.5 融合设计方法	22-18
1.3.6 优化设计方法	22-18
1.3.7 人-机系统设计方法	22-19
1.3.8 光机电一体化系统艺术造型设计方法	22-19
1.3.9 可靠性设计方法	22-20
1.3.10 系统安全性设计方法	22-22
1.4 光机电一体化系统总体设计	22-23
1.4.1 光机电一体化产品的需求分析	22-23
1.4.2 光机电一体化系统设计技术参数与技术指标制定方法	22-24
1.4.3 光机电一体化系统原理方案设计	22-24
1.4.4 光机电一体化系统结构方案设计	22-26

1.4.4.1 系统结构方案设计的程序	22-26
1.4.4.2 系统结构方案设计的基本原则	22-27
1.4.5 光机电一体化系统总体布局设计	22-28
1.4.6 总体准确度分析与设计	22-28
1.5 光机电一体化系统设计流程	22-28

第 2 章 传感检测系统设计

2.1 传感检测系统	22-31
2.1.1 传感检测系统的概念与特点	22-31
2.1.2 传感检测系统的结构与组成	22-31
2.1.2.1 非电量的特征	22-31
2.1.2.2 传感检测系统的结构	22-32
2.1.2.3 传感检测系统的硬件组成	22-34
2.1.2.4 传感检测系统的软件组成	22-34
2.1.3 传感器信号的处理	22-35
2.1.4 信号传输	22-35
2.2 传感器及其应用	22-36
2.2.1 传感器的组成与分类	22-36
2.2.2 传感器的主要性能指标	22-36
2.2.3 各种用途的常用传感器	22-37
2.2.4 基于各种工作原理的常用传感器	22-41
2.2.4.1 电阻式传感器	22-41
2.2.4.2 电容式传感器	22-46
2.2.4.3 电感传感器	22-49
2.2.4.4 压电传感器	22-56
2.2.4.5 磁电传感器	22-61
2.2.4.6 霍尔式传感器	22-62
2.2.4.7 光纤传感器	22-66
2.2.4.8 激光式传感器	22-71
2.2.4.9 数字式传感器	22-76
2.2.5 传感器的选用	22-80
2.3 模拟信号检测系统设计	22-81
2.3.1 模拟信号检测系统的组成	22-81

2.3.2	基本转换电路	22-82
2.3.3	信号放大电路	22-84
2.3.4	信号调制与解调	22-87
2.3.5	滤波电路	22-88
2.3.6	电平转换电路	22-90
2.3.7	采样-保持电路	22-90
2.3.8	运算电路	22-90
2.3.9	A/D 转换电路	22-93
2.3.10	数字信号的预处理	22-94
2.3.11	抗干扰设计	22-99
2.4	数字信号检测系统设计	22-101
2.4.1	数字信号检测系统的组成	22-101
2.4.2	编码器及光栅信号的电子细分方法	22-102
2.5	现代传感检测技术的新发展	22-107
2.6	典型传感系统设计应用实例和检测装置	22-109
2.6.1	CX300 型数控车铣加工中心传感检测系统设计实例	22-109
2.6.2	飞锯检测系统设计实例	22-110

第 3 章 伺服系统设计

3.1	伺服系统	22-113
3.2	伺服系统的基本要求和设计方法	22-113
3.2.1	伺服系统的基本要求	22-113
3.2.2	伺服系统的设计步骤	22-114
3.3	伺服系统执行元件及其控制	22-114
3.3.1	执行元件种类和特点	22-114
3.3.2	电气执行元件	22-115
3.3.2.1	直流伺服电动机及其驱动	22-115
3.3.2.2	交流伺服电动机及其驱动	22-117
3.3.2.3	松下 MINAS A4 伺服型号意义及参数	22-119
3.3.2.4	步进电动机	22-127
3.3.2.5	步进电动机驱动装置设计	22-129
3.3.3	液压执行机构	22-131
3.3.4	气动执行装置	22-131
3.3.5	新型执行装置	22-132
3.3.6	电液伺服阀	22-132
3.3.7	电液比例阀	22-133
3.3.8	电液数字阀	22-133
3.4	执行电机的选择及设计	22-134
3.4.1	交流电动机调速方式	22-134
3.4.2	交流变频调速器	22-135
3.5	开环控制伺服系统及其设计	22-136

3.6	闭环伺服系统设计	22-137
3.7	数字伺服系统的设计	22-138

第 4 章 机械系统设计

4.1	光机电一体化机械系统的基本要求和组成	22-140
4.2	机械传动机构设计	22-141
4.2.1	机械传动机构的分类及选用	22-141
4.2.1.1	机械传动机构的分类	22-141
4.2.1.2	机械传动机构的选用	22-142
4.2.2	传动因素分析	22-143
4.2.3	滚珠丝杠传动设计与选用	22-144
4.2.3.1	滚珠丝杠副基础资料	22-144
4.2.3.2	滚珠丝杠副的主要尺寸和精度等级	22-151
4.2.3.3	滚珠丝杠副的选择设计计算及典型产品	22-155
4.2.4	其他传动机构	22-166
4.2.4.1	齿轮传动	22-166
4.2.4.2	挠性传动	22-171
4.2.4.3	间歇传动	22-172
4.3	机械导向机构设计	22-174
4.4	机械执行机构设计	22-179
4.4.1	执行机构分析	22-179
4.4.1.1	主要性能指标	22-179
4.4.1.2	系统的品质	22-182
4.4.1.3	能量转换接口	22-185
4.4.2	微动机构	22-187
4.4.3	误差补偿机构	22-191
4.4.4	定位机构	22-193
4.4.5	设计实例	22-194
4.4.5.1	数控机床动力卡盘与回转刀架	22-194
4.4.5.2	工业机器人末端执行器	22-197
4.5	支撑系统和机架设计	22-199
4.5.1	轴系设计的基本要求及类型	22-199
4.5.2	机架的基本要求及结构设计要点	22-201

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	22-205
5.1.1	微机控制系统的基本组成	22-205
5.1.1.1	微机控制系统的硬件组成	22-205
5.1.1.2	微机控制系统的软件组成	22-206

5.1.2 微机控制系统的分类	22-206	6.2.1 人机接口电路类型与特点	22-225
5.2 微机控制系统设计的方法和步骤	22-207	6.2.2 输入接口电路设计	22-226
5.2.1 模拟化设计方法和步骤	22-207	6.2.3 输出接口电路设计	22-227
5.2.1.1 模拟化设计思想	22-207	6.3 机电接口电路设计	22-237
5.2.1.2 香农采样定理	22-207	6.3.1 机电接口电路类型与特点	22-237
5.2.1.3 模拟化设计步骤	22-208	6.3.2 信号采集通道接口中的 A/D 转换 接口电路设计	22-237
5.2.1.4 数字 PID 控制系统设计	22-209	6.3.3 控制量输出通道中的 D/A 转换接口 电路设计	22-239
5.2.2 离散化设计方法和步骤	22-212	6.3.4 控制量输出通道中的功率接口电路 设计	22-241
5.3 微机控制系统的数学模型	22-212	6.3.4.1 PWM 整流电路	22-241
5.3.1 差分方程	22-212	6.3.4.2 光耦合器驱动接口设计	22-243
5.3.1.1 差分的概念和差分方程	22-212	6.3.4.3 继电器	22-245
5.3.1.2 差分方程的求解方法	22-213		
5.3.2 Z 传递函数	22-213		
5.3.2.1 基本概念	22-213		
5.3.2.2 开环系统的脉冲传递函数	22-213		
5.4 微机控制系统分析	22-215		
5.4.1 线性离散系统的时域响应分析	22-215		
5.4.2 离散系统的稳定性分析	22-216		
5.4.2.1 Z 平面内的稳定条件	22-216		
5.4.2.2 S 平面与 Z 平面之间的映射 关系	22-216		
5.4.2.3 稳定判据	22-217		
5.4.3 离散系统的稳态误差	22-217		
5.4.4 离散系统的暂态性能	22-218		
5.4.4.1 闭环极点与暂态分量的 关系	22-218		
5.4.4.2 离散系统暂态性能的估算	22-219		
5.4.5 离散系统的根轨迹分析法	22-220		
5.4.5.1 Z 平面上的根轨迹	22-220		
5.4.5.2 用根轨迹法分析离散系统	22-222		
5.4.6 离散系统的频率法	22-222		
5.5 典型微机控制系统及设计应用实例	22-223		
5.5.1 基于工业控制计算机的微机控制 系统	22-223		
5.5.1.1 系统结构和特点	22-223		
5.5.1.2 工控组态软件	22-223		
5.5.2 基于单片机的微机控制系统	22-223		
5.5.3 基于可编程控制器的微机控制 系统	22-223		

第 6 章 接口设计

6.1 接口设计基本方法和接口芯片	22-225
6.1.1 接口设计与分析的基本方法	22-225
6.1.2 常用的接口芯片	22-225
6.2 人机接口电路设计	22-225

第 7 章 设计实例

7.1 数控车床的改造	22-249
7.1.1 数控车床的改造方案组成框图	22-249
7.1.2 机械结构改造设计方案	22-249
7.1.3 数控车床计算机控制系统改造硬件 设计	22-252
7.1.4 数控车床计算机控制系统改造软件 设计	22-257
7.2 工业机器人的机电一体化设计	22-257
7.2.1 工业机器人的组成与分类	22-257
7.2.2 SCARA 型装配机器人系统设计	22-257
7.2.3 BJD-1 型机器人设计	22-262
7.2.4 缆索并联机器人设计	22-266
7.3 无人搬运车 (AGV) 系统设计	22-270
7.3.1 无人搬运车系统 (AGVS)	22-270
7.3.2 无人搬运车的引导方式和结构	22-273
7.3.2.1 无人搬运车的引导方式	22-273
7.3.2.2 无人搬运车的结构	22-274
7.3.3 典型的无人搬运车	22-276
7.3.3.1 瑞典 AGV 电子有限公司的 产品	22-276
7.3.3.2 美国 AGV 产品有限公司的 产品	22-278
7.4 信函连续作业自动处理系统设计	22-281
7.4.1 信函自动处理流水线	22-282
7.4.1.1 信函自动处理流水线的 组成	22-282
7.4.1.2 信函自动处理的前提条件	22-283
7.4.2 信函分类机	22-283
7.4.3 缓冲储存器	22-285

7.4.4 理信盖销机	22-287
7.4.5 信函分拣机	22-290
7.4.5.1 信函分拣的同步人格控制	22-290
7.4.5.2 条形码及光学条码自动	

识别	22-290
7.4.5.3 光学文字自动识别	22-293
参考文献	22-298



第23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 (摘自 GB/T 7665—2005)	23-3
1.1.1 传感器一般分类术语	23-3
1.1.2 物理量传感器术语	23-5
1.1.2.1 力学量传感器	23-5
1.1.2.2 热学量传感器	23-9
1.1.2.3 光 [学量] 传感器	23-10
1.1.2.4 磁 [学量] 传感器	23-11
1.1.2.5 电学量传感器	23-11
1.1.2.6 声 [学量] 传感器	23-11
1.2 敏感元器件术语 (摘自 GB/T 4475—1995)	23-11
1.2.1 通用术语	23-11
1.2.2 热 (温) 敏元器件术语	23-12
1.2.2.1 热 (温) 敏元器件分类术语	23-12
1.2.2.2 热 (温) 敏元器件性能 参数术语	23-14
1.2.3 光敏元器件术语	23-16
1.2.3.1 光敏元器件分类术语	23-16
1.2.3.2 光敏元器件性能参数术语	23-17
1.2.4 压敏元器件术语	23-19
1.2.4.1 压敏元器件分类术语	23-19
1.2.4.2 压敏元器件性能参数术语	23-20
1.2.5 磁敏元器件术语	23-23
1.2.5.1 磁敏元器件分类术语	23-23
1.2.5.2 磁敏元器件性能参数术语	23-24
1.2.6 力敏元器件术语	23-26
1.2.6.1 力敏元器件分类术语	23-26
1.2.6.2 力敏元器件性能参数术语	23-28
1.2.6.3 力敏元器件结构术语	23-30
1.2.7 放射线敏元器件术语	23-30
1.2.8 纤维光学敏元器件术语	23-31
1.3 传感器命名法及代码 (摘自 GB/T 7666—2005)	23-32
1.3.1 传感器命名方法	23-32
1.3.1.1 命名法的构成	23-32

1.3.1.2 命名法范例	23-32
1.3.2 传感器代号标记方法	23-33
1.3.2.1 传感器代号的构成及意义	23-33
1.3.2.2 传感器代号标记示例	23-33
1.4 传感器图用图形符号 (摘自 GB/T 14479—1993)	23-37
1.4.1 传感器一般符号	23-37
1.4.1.1 传感器符号术语	23-37
1.4.1.2 传感器一般符号	23-37
1.4.2 传感器图形符号的组合	23-37
1.4.3 传感器图形符号表示规则	23-38
1.5 传感器性能特性及相关术语 (摘自 GB/T 7665—2005)	23-41
1.5.1 传感器通用性能术语	23-41
1.5.2 光纤传感器性能特性及相关术语	23-47
1.6 传感器主要单项静态性能指标计算方法 (摘自 GB/T 18459—2001)	23-47
1.6.1 基本术语和静态性能指标的定义	23-47
1.6.1.1 基本术语	23-47
1.6.1.2 静态性能指标的定义	23-48
1.6.2 静态校准特性的建立	23-50
1.6.2.1 静态校准的一般要求	23-50
1.6.2.2 静态校准特性的计算	23-50
1.6.2.3 传感器等精度性的检验	23-50
1.6.3 量程 (x_{FS})	23-51
1.6.4 满量程输出 (Y_{FS})	23-51
1.6.5 分辨力 (R_x)	23-51
1.6.6 灵敏度 (s_i)	23-51
1.6.7 回差 (ξ_H)	23-51
1.6.8 重复性 (ξ_R)	23-51
1.6.8.1 计算方法	23-51
1.6.8.2 包含因子的确定	23-52
1.6.8.3 样本标准偏差的计算	23-52
1.6.8.4 传感器样本标准偏差的选取	23-52
1.6.9 线性度 (ξ_L)	23-53
1.6.9.1 计算传感器线性度的一般 公式	23-53
1.6.9.2 绝对线性度 ($\xi_{L,ab}$)	23-53
1.6.9.3 端基线性度 ($\xi_{L,tc}$)	23-53

第 2 章 力参数测量传感器

1.6.9.4	平移端基线性度 ($\xi_{L,a,te}$)	23-53
1.6.9.5	零基线性度 ($\xi_{L,ze}$)	23-53
1.6.9.6	前端基线性度 ($\xi_{L,f,te}$)	23-54
1.6.9.7	独立线性度 ($\xi_{L,in}$)	23-54
1.6.9.8	最小二乘线性度 ($\xi_{L,ls}$)	23-54
1.6.10	符合度 (ξ_c)	23-55
1.6.10.1	一般计算公式	23-55
1.6.10.2	不同参比曲线的符合度	23-55
1.6.11	漂移	23-57
1.6.11.1	零点输出漂移 (D_0)	23-57
1.6.11.2	满量程输出漂移 (D_{FS})	23-57
1.6.11.3	热零点偏移 (γ)	23-57
1.6.11.4	热满量程输出偏移 (β)	23-57
1.6.12	传感器单项性能指标计算示例	23-57
1.6.12.1	零基线性度计算示例	23-57
1.6.12.2	独立线性度计算示例	23-58
1.6.12.3	符合度计算的一般原理及 计算示例	23-60
1.7	不确定度及其他综合静态性能指标的计算 方法 (摘自 GB/T 18459—2001)	23-62
1.7.1	传感器不确定度计算的基本原理	23-62
1.7.2	线性度加回差 (ξ_{LH})	23-63
1.7.3	线性度加回差加重复性 (ξ_{LHR})	23-63
1.7.4	其他综合静态性能指标及特性	23-64
1.7.5	传感器分项性能指标和综合性能 指标计算示例	23-65
1.7.5.1	计算示例 1	23-65
1.7.5.2	计算示例 2	23-68
1.7.5.3	计算示例 3	23-69
1.7.5.4	计算示例 4	23-69
1.7.6	变送器分项性能指标和综合性能 指标计算示例	23-70
1.7.6.1	变送器的总不确定度及其 工作特性 (方程) 的计算 原理	23-70
1.7.6.2	计算示例	23-70
1.7.6.3	计算结果	23-70
1.8	传感器的动态特性	23-71
1.8.1	动态量测试技术的通用术语 (摘自 GB/T 2298—1991)	23-71
1.8.2	一阶系统和二阶系统的动态特性及 其对典型输入的响应	23-73
1.9	传感器特性参数的选择	23-74
1.9.1	传感器的主要技术指标	23-74
1.9.2	传感器特性参数的选择	23-75

2.1	电阻应变计	23-76
2.1.1	电阻应变计的工作原理	23-76
2.1.2	电阻应变计的基本结构与材料	23-76
2.1.3	电阻应变计的分类	23-77
2.1.4	电阻应变计的工作特性及选择	23-79
2.1.4.1	电阻应变计的工作特性	23-79
2.1.4.2	应变计的选用原则	23-82
2.1.5	电阻应变计的安装	23-83
2.1.5.1	常用黏结剂的种类与性能	23-83
2.1.5.2	电阻应变计的粘贴	23-83
2.1.5.3	电阻应变计的防护	23-84
2.1.6	常用电阻应变计产品	23-84
2.2	应力与应变测量	23-91
2.2.1	电阻应变测量系统	23-91
2.2.1.1	测量系统	23-91
2.2.1.2	电阻应变仪	23-91
2.2.1.3	电阻应变测量中的干扰及 防护措施	23-91
2.2.1.4	电阻应变仪产品	23-92
2.2.2	电桥测量电路	23-95
2.2.2.1	直流电桥	23-95
2.2.2.2	交流电桥	23-96
2.2.3	应力应变测量举例	23-96
2.2.3.1	单向应力测量	23-96
2.2.3.2	平面应力状态下主应力的 测量	23-99
2.3	拉压力传感器	23-100
2.3.1	拉压力传感器的形式与特点	23-100
2.3.1.1	电阻应变式测力装置	23-100
2.3.1.2	其他测力传感器	23-103
2.3.2	常用拉压力传感产品	23-105
2.3.2.1	荷重传感器	23-105
2.3.2.2	拉压力传感器	23-107
2.3.3	拉压力传感器设计及应用	23-109
2.4	扭矩传感器	23-111
2.4.1	扭矩测量原理	23-111
2.4.2	常用扭矩传感器产品	23-114
2.5	厂商名录	23-120

第 3 章 位移和位置传感器

3.1	位移传感器的分类和主要技术指标	23-122
3.2	电阻式位移传感器	23-123

3.2.1 变阻式位移传感器(电位器式传感器)	23-123
3.2.2.1 工作原理	23-123
3.2.2.2 变阻式传感器的特点	23-123
3.2.2.3 变阻式位移传感器产品	23-123
3.2.2 应变式位移传感器	23-124
3.2.2.1 应变式传感器的工作原理	23-124
3.2.2.2 应变式位移传感器的典型产品	23-124
3.3 电感式位移传感器	23-126
3.3.1 电感式位移传感器的工作原理	23-126
3.3.1.1 可变磁阻式传感器的工作原理	23-126
3.3.1.2 涡流式位移传感器工作原理	23-127
3.3.2 电感式位移传感器产品	23-127
3.3.2.1 可变磁阻式直线位移传感器	23-127
3.3.2.2 涡流式位移传感器	23-128
3.4 线性可变差动变压器(LVDT)式位移传感器	23-132
3.4.1 LVDT的工作原理	23-132
3.4.2 LVDT产品	23-133
3.5 电容式位移传感器	23-133
3.5.1 电容式位移传感器的工作原理	23-133
3.5.2 电容式传感器的结构类型和主要特性	23-134
3.5.3 电容式位移传感器产品	23-134
3.6 感应同步器	23-135
3.6.1 感应同步器的工作原理	23-135
3.6.2 感应同步器产品	23-135
3.7 光栅传感器	23-137
3.7.1 光栅传感器的结构和工作原理	23-137
3.7.2 光栅传感器产品	23-138
3.8 磁栅式传感器	23-141
3.8.1 磁栅传感器的结构和工作原理	23-141
3.8.2 磁栅传感器的信号处理	23-142
3.8.3 磁栅传感器产品	23-142
3.9 编码器	23-143
3.9.1 编码器的分类	23-143
3.9.2 编码器的选用原则	23-145
3.9.3 编码器产品	23-145
3.10 接近开关	23-151
3.10.1 术语解释	23-151
3.10.2 分类和选用	23-155
3.10.3 电容式接近开关	23-155

3.10.3.1 原理	23-155
3.10.3.2 产品	23-155
3.10.4 电感式接近开关	23-161
3.10.4.1 工作原理	23-161
3.10.4.2 电感式接近开关产品	23-161
3.10.5 光电式接近开关	23-165
3.10.5.1 工作原理和分类	23-165
3.10.5.2 产品	23-167
3.10.6 霍尔式接近开关	23-171
3.10.7 超声波式接近开关	23-172
3.10.7.1 工作原理	23-172
3.10.7.2 产品	23-172
3.11 厂商名录	23-176

第4章 速度传感器

4.1 线速度传感器	23-178
4.1.1 线速度传感器的分类及其特点	23-178
4.1.2 磁电式速度传感器	23-178
4.1.2.1 磁电式速度传感器的工作原理	23-178
4.1.2.2 磁电式速度传感器产品	23-178
4.1.3 激光多普勒测速	23-183
4.1.3.1 激光多普勒测速的工作原理	23-183
4.1.3.2 激光多普勒测速产品	23-183
4.1.4 微波测速	23-185
4.1.4.1 工作原理	23-185
4.1.4.2 微波测速产品	23-185
4.2 角速度(转速)传感器	23-186
4.2.1 角速度传感器分类和主要性能指标	23-186
4.2.1.1 角速度定义	23-186
4.2.1.2 分类	23-186
4.2.1.3 角速度传感器选用与性能比较	23-186
4.2.2 霍尔转速传感器	23-186
4.2.2.1 工作原理	23-186
4.2.2.2 霍尔转速传感器产品	23-187
4.2.3 磁电式转速传感器	23-190
4.2.3.1 磁电式转速传感器的工作原理	23-190
4.2.3.2 磁电式速度传感器产品	23-190
4.2.4 光电式速度传感器	23-193
4.2.4.1 光电式速度传感器的工作原理	23-193

4.2.4.2	光电式速度传感器产品	23-194
4.2.5	电涡流转速传感器	23-197
4.2.5.1	电涡流转速传感器的工作 原理	23-197
4.2.5.2	电涡流转速传感器产品	23-197
4.2.6	光纤陀螺(光纤角速度传感器)	23-199
4.2.6.1	光纤陀螺的工作原理	23-199
4.2.6.2	应用	23-200
4.2.6.3	VG951、VG941-3AM、VG091A 系列光纤陀螺	23-200
4.2.7	激光转速传感器与激光陀螺	23-200
4.2.7.1	激光转速传感器的工作 原理	23-200
4.2.7.2	激光陀螺仪的工作原理	23-201
4.2.7.3	激光转速传感器产品	23-201
4.2.7.4	激光陀螺产品	23-202
4.2.8	压电射流角速度传感器	23-203
4.2.8.1	压电射流角速度传感器工作 原理	23-203
4.2.8.2	压电射流角速度传感器 产品	23-203
4.3	厂商名录	23-204

第5章 振动与冲击测量传感器

5.1	机械振动、冲击名词术语(摘自 GB 2298—1991)	23-206
5.1.1	机械振动	23-206
5.1.2	机械冲击	23-213
5.1.3	测试技术	23-215
5.2	振动传感器的分类及其特点	23-219
5.2.1	常用的振动传感器	23-219
5.2.2	振动传感器直接测量参数的 选择	23-219
5.2.3	描述惯性式传感器特性的规定 (摘自 GB/T 13866—1992)	23-220
5.3	振动位移传感器	23-222
5.3.1	电涡流式振动位移传感器	23-222
5.3.1.1	电涡流式振动位移传感器的 组成和安装	23-222
5.3.1.2	电涡流式位移传感器产品	23-222
5.3.2	光纤振动位移传感器	23-224
5.3.2.1	光纤振动位移传感器的结构 和工作原理	23-224
5.3.2.2	MTI 系列光纤测量系统	23-225
5.3.3	激光振动位移传感器	23-226
5.3.3.1	DD 系列数字位移解码器	23-227
5.3.3.2	OFV-5000 控制器	23-227
5.3.3.3	OFV-505 振动计探头	23-227
5.3.4	电感式位移传感器	23-228
5.4	振动速度传感器	23-228
5.4.1	磁电式速度传感器	23-228
5.4.1.1	磁电式速度传感器的原理及 应用	23-228
5.4.1.2	磁电式速度传感器的产品 系列	23-229
5.4.1.3	一体式振动变送器	23-229
5.4.2	激光多普勒速度传感器	23-230
5.4.2.1	AT 系列激光多普勒振动计	23-231
5.4.2.2	IVS 系列工业振动传感器	23-232
5.4.2.3	扫描式激光多普勒振动测量 系统	23-232
5.4.2.4	RLV-5500 旋转激光测振仪	23-233
5.5	振动加速度传感器	23-234
5.5.1	压电式加速度传感器	23-234
5.5.1.1	压电加速度计的工作原理及 分类	23-235
5.5.1.2	IEPE 型压电加速度计	23-237
5.5.1.3	电荷型压电加速度计	23-245
5.5.1.4	压电式加速度温度复合型 传感器	23-251
5.5.1.5	USB 压电式数据采集器	23-251
5.5.1.6	压电式速度传感器	23-251
5.5.1.7	阻抗头	23-253
5.5.2	电阻/压阻式加速度传感器	23-253
5.5.3	电容式加速度传感器	23-255
5.5.4	伺服式加速度传感器	23-257
5.5.4.1	伺服式加速度传感器的工作 原理	23-257
5.5.4.2	260 系列伺服式加速度计	23-257
5.5.5	光纤加速度传感器	23-258
5.5.5.1	FOA-100 光纤加速度计	23-258
5.5.5.2	MR 系列光纤加速度计	23-258
5.5.6	TEDS 加速度计	23-258
5.5.7	无线振动加速度传感器	23-259
5.5.8	加速度计的选择和技术要求	23-260
5.5.9	加速度计的机械安装	23-261
5.5.9.1	安装方法的选择(摘自 GB/T 14412—2005)	23-262
5.5.9.2	安装谐振频率的确定(摘自 GB/T 14412—2005)	23-263

5.5.9.3 具体安装方法的建议 (摘自 GB/T 14412—2005)	23-263
5.5.9.4 接地绝缘和接地噪声	23-264
5.6 冲击传感器	23-264
5.6.1 冲击传感器技术基础	23-264
5.6.1.1 冲击加速度的特点及其对 传感器的要求	23-264
5.6.1.2 冲击加速度计的选择和 应用	23-265
5.6.2 压电冲击加速度传感器	23-267
5.6.2.1 电荷型压电冲击加速度 传感器	23-267
5.6.2.2 IEPE 型压电冲击加速度 传感器	23-267
5.7 振动的激励设备	23-268
5.7.1 激振信号发生设备	23-269
5.7.1.1 激振信号的类型及其特点	23-269
5.7.1.2 激振信号发生器及功率 放大器	23-269
5.7.2 力锤和激振器	23-271
5.7.2.1 力锤	23-271
5.7.2.2 激振器	23-271
5.8 振动与冲击传感器校准方法 (摘自 GB/T 20485.1—2008)	23-273
5.8.1 绝对法校准	23-274
5.8.1.1 通过测量位移幅值及频率 进行校准	23-274
5.8.1.2 互易法校准	23-276
5.8.1.3 离心机校准法	23-276
5.8.1.4 冲击校准方法	23-278
5.8.2 比较法校准	23-278
5.8.3 振动与冲击校准仪器	23-279
5.8.3.1 便携式振动校准仪	23-279
5.8.3.2 手持式振动校准仪	23-279
5.8.3.3 压电陶瓷压电应变常数 d_{33} 测量仪	23-280
5.8.3.4 加速度校准传感器	23-280
5.8.3.5 冲击校准仪	23-282
5.9 厂商名录	23-282

第 6 章 流量和压力测量传感器

6.1 流量传感器	23-284
6.1.1 概述	23-284
6.1.1.1 流量的概念与单位	23-284
6.1.1.2 流量计的主要参数	23-287

6.1.1.3 流量计的分类	23-288
6.1.1.4 流量计的选择和性能比较	23-288
6.1.2 容积式流量计	23-288
6.1.2.1 椭圆齿轮流量计	23-288
6.1.2.2 腰轮转子流量计	23-290
6.1.2.3 齿轮流量计	23-291
6.1.2.4 其他类型的容积式流量计	23-291
6.1.2.5 容积式流量计产品	23-292
6.1.3 速度式流量计	23-297
6.1.3.1 涡轮流量计	23-297
6.1.3.2 超声波流量计	23-302
6.1.3.3 电磁流量计	23-308
6.1.3.4 涡街流量计	23-314
6.1.4 差压式流量计	23-317
6.1.4.1 差压式流量计的计算公式	23-317
6.1.4.2 差压式流量计分类	23-319
6.1.4.3 节流装置的结构与特点	23-319
6.1.4.4 差压式流量计产品	23-323
6.1.5 流体阻力式流量计	23-325
6.1.5.1 浮子流量计 (转子流量计)	23-325
6.1.5.2 靶式流量计	23-328
6.2 压力传感器	23-335
6.2.1 概述	23-335
6.2.1.1 压力的概念	23-335
6.2.1.2 压力的单位	23-335
6.2.1.3 压力仪器的分类	23-335
6.2.2 常用压力传感器的结构原理与 工作特性	23-336
6.2.2.1 弹性式压力传感器	23-336
6.2.2.2 电测式压力传感器	23-339
6.2.2.3 常用压力传感器产品	23-342
6.2.3 测压传感器的标定	23-346
6.2.3.1 测压传感器的标定方法与 结构原理	23-346
6.2.3.2 测压传感器标定设备产品	23-347
6.3 厂商名录	23-351

第 7 章 温度传感器

7.1 热学基本知识	23-352
7.1.1 温度和温标	23-352
7.1.2 温度测量方法	23-352
7.1.3 温度传感器的分类和主要性能 比较	23-352
7.2 热电偶传感器	23-354
7.2.1 热电偶传感器的工作原理	23-354

7.2.1.1 热电效应	23-354	8.1.2.2 波动方程	23-410
7.2.1.2 热电偶基本定律	23-355	8.1.3 声波的一些性质	23-410
7.2.1.3 热电偶的材料	23-355	8.1.3.1 声波在传播过程中发生的 变化	23-410
7.2.1.4 热电偶的冷端温度补偿	23-357	8.1.3.2 声波在不同介质中传播的 变化	23-410
7.2.2 热电偶产品	23-359	8.2 声传感器	23-411
7.3 半导体热敏电阻温度传感器	23-369	8.2.1 传声器	23-411
7.3.1 半导体热敏电阻分类	23-369	8.2.1.1 分类	23-411
7.3.2 半导体热敏电阻的基本参数	23-369	8.2.1.2 传声器的电声性能指标特性 ..	23-411
7.3.3 常用半导体热敏电阻产品	23-370	8.2.1.3 传声器的选择	23-412
7.4 热电阻温度传感器	23-371	8.2.1.4 产品主要性能参数	23-412
7.4.1 热电阻温度传感器的特点、材料和 结构	23-371	8.2.2 扬声器	23-412
7.4.2 常用热电阻温度传感器产品	23-372	8.2.2.1 扬声器分类和性能参数	23-412
7.5 热膨胀型温度传感器	23-378	8.2.2.2 扬声器产品	23-414
7.5.1 热膨胀型温度传感器工作原理	23-378	8.2.3 压电陶瓷片	23-415
7.5.2 双金属式温度传感器产品	23-379	8.2.3.1 压电陶瓷扬声器结构和 工作原理	23-415
7.5.3 压力式温度传感器产品	23-381	8.2.3.2 压电陶瓷产品	23-415
7.6 示温涂料传感器	23-384	8.2.4 声级计	23-416
7.6.1 示温涂料传感器工作原理	23-384	8.2.4.1 声级计的工作原理	23-416
7.6.2 示温涂料产品	23-384	8.2.4.2 声级计的分类	23-417
7.7 红外测温仪与热像仪	23-386	8.2.4.3 声级计的校准方法	23-417
7.7.1 红外测温仪产品	23-390	8.2.4.4 声级计产品	23-417
7.7.2 红外热像仪产品	23-398	8.2.5 光纤声传感器	23-419
7.8 高温计	23-400	8.2.5.1 光纤声传感器原理	23-419
7.8.1 高温计的工作原理	23-400	8.2.5.2 光纤声传感器产品	23-419
7.8.1.1 全辐射高温计	23-400	8.2.6 超声波传感器	23-420
7.8.1.2 光学高温计	23-400	8.2.6.1 超声波传感器原理及应用	23-420
7.8.1.3 比色高温计	23-401	8.2.6.2 超声波传感器的产品	23-421
7.8.2 高温计产品	23-401	8.2.7 声校准器	23-421
7.9 光纤温度传感器	23-404	8.3 声发射传感器	23-422
7.9.1 光纤温度传感器分类与工作 原理	23-404	8.3.1 声发射基本概念	23-422
7.9.1.1 敏感型光纤温度传感器	23-404	8.3.1.1 声发射和声发射源	23-422
7.9.1.2 传输型温度传感器	23-404	8.3.1.2 影响声发射特性的因素	23-422
7.9.2 光纤温度传感器产品	23-405	8.3.2 声发射传感器的工作原理	23-423
7.10 厂商名录	23-406	8.3.3 声发射检测技术	23-424
		8.3.3.1 系统构成	23-424
		8.3.3.2 声发射检测技术	23-425
		8.3.3.3 声发射检测技术应用	23-425
		8.3.4 声发射传感器产品	23-425
		8.4 厂商名录	23-426

第 8 章 声 传 感 器

8.1 概述	23-408
8.1.1 声波、声谱、声速	23-408
8.1.1.1 声波	23-408
8.1.1.2 声谱	23-409
8.1.1.3 声速	23-409
8.1.2 波动方程	23-409
8.1.2.1 平面简谐波的波函数	23-409

第 9 章 厚度、距离、物位和倾角传感器

9.1 厚度传感器	23-428
-----------------	--------