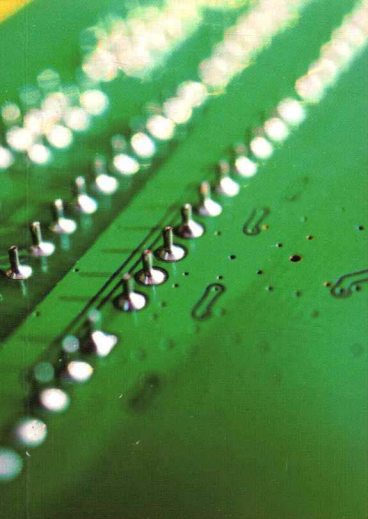




全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家级精品课程配套教材

Experiment Tutorial of Detection Technology 检测技术实验教程

王晓俊 主编
Wang Xiaojun

周杏鹏 主审
Zhou Xingpeng



清华大学出版社



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家级精品课程配套教材

Experiment Tutorial of Detection Technology 检测技术实验教程

王晓俊 主编

Wang Xiaojun

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是我国普通高等教育“十一五”国家级规划教材、全国高等学校自动化专业系列教材。全书共分12章,即绪论、实验基础、实验数据处理方法、虚拟仪器及设计、传感器原理实验、传感器特性测试实验、机械量检测实验、压力检测实验、温度检测实验、物位检测实验、流量检测实验、综合与设计型实验。本书着重介绍了各种常见机械、热工等工程量的检测方法和技术;每个实验都按实验目的、实验内容与要求、实验基本原理、实验系统组建与设备连接、实验步骤、实验数据记录、实验数据处理与分析、实验报告要求、思考题、实验改进与讨论等进行编排。

除几个演示型实验外,本书中大多实验均提供了基于虚拟仪器的实验系统方案、信号调理电路、实验步骤和调试要点,适用于高等院校检测技术实验课程开展综合型、设计型实验的实验指导。

本书包含的传感器种类多、检测参量广。教材注重知识纵向联系与横向比较,能较好地满足高等院校自动化、测控技术与仪器、电气工程与自动化等专业本、专科的设计型实验课教材需要,也可作为有关工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

检测技术实验教程/王晓俊主编.--北京:清华大学出版社,2016

全国高等学校自动化专业系列教材

ISBN 978-7-302-42184-9

I. ①检… II. ①王… III. ①技术测量—实验—高等学校—教材 IV. ①TG806-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第272730号

责任编辑:王一玲

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:175mm×245mm

印 张:25.5

字 数:553千字

版 次:2016年1月第1版

印 次:2016年1月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:49.00元

出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层面、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

顾问 (按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员 (按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)
陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

序

FOREWORD >>>

自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20 世纪 50 年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重大作用,如航空、航天等,两弹一星的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创建精品教材,重视实

践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以激励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

吴恪迪 教授

2005 年 10 月于教育部

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教学,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的,也可能是随机性的;控制方法可能是常规控制,也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入的研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术,从系统理论到工程实践,从计算机技术到信号处理,从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所,参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设基础知识与最新知识有机融合的教材?如何充分利用现代技术,适应现代大学生的接受习惯,改变教材单一形态,建设数字化、电子化、网络化等多元

形态、开放性的“广义教材”？等等，这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版，对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境，一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限，本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处，还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴俊 院士

2005年10月于清华大学



《检测技术实验教程》是我国普通高校国家级规划教材,可作为全国高等学校自动化专业系列教材《传感器与检测技术》、国家精品教材《现代检测技术》(第二版)等理论教材相配套的实验与实践教材。本教材是以初步培养学生工程能力为目标,使学生通过本实验教程的实验和实践训练,进一步巩固和扩充理论知识,培养科学实验的基本技能和严谨的工作作风,更好地理解 and 掌握各种常见机械、热工等工程量的检测方法,学习和理解目前国内外常用及先进的各类自动检测仪表及系统,并逐步培养学生根据具体检测需求,综合运用先修课程及本课程的知识,逐步掌握设计高性能价格比及先进实用的自动测控仪表及提高系统的工程设计能力。

国内现有传感器与检测技术实验平台均高度模块化,学生在此平台上只需连线即可完成相关实验,无法得到充分的动手能力训练,国内目前还缺乏开展设计型实验的平台与实验指导书。针对这一现状,本实验教程对大多数实验选题从开展设计性实验的需求出发,在详细介绍实验原理的基础上,提供了详细的实验系统设备选型、实验系统组成、信号调理电路、实验步骤和调试方法,并通过数据分析、思考题和实验讨论,启发学生深入思考、学以致用。

本实验教程分为四部分:第一部分:基础知识,包括绪论、实验基础、实验数据处理方法、虚拟仪器及设计;第二部分:传感器实验,安排了 17 项传感器原理、8 项传感器性能实验,涉及本实验教程用到的大多数传感器,可根据不同理论课程需要进行选做;第三部分:物理参量检测实验,分别针对机械、压力、温度、物位、流量等参量共安排了 56 个实验选题,每个选题与理论课程紧密配合,每个实验都详细介绍了相关理论基础知识、实验平台、实验系统构建方法、实验步骤、实验数据处理与分析等,并在每个选题里面设计了相关思考题和实验改进与讨论内容;第四部分:综合和设计型实验,共 8 个工程应用选题,通过提供参考传感器和检测系统实现方案,由学生结合理论课内容及电路、模拟电路、微机原理和计算机语言等基础知识,实现相关实验系统的设计、制作、调试,并撰写实验报告。

本实验教程具有以下特点:

1. 教程包含实验内容全面、覆盖知识面广,除几个演示型实验外,都提供了以虚拟仪器为基础的实验系统方案、信号调理方案,不仅可用于验证型实验,更可用于作为设计型实验的指导书。

2. 在实验系统配置方面,充分考虑到目前高校普遍购置有传感器与检测技术实验平台的现状,本实验教程的部分实验采用现有传感器及其安装台架,在根据本教程开展设计性实验时不需重复投入。

3. 针对现有传感器与检测技术实验平台没有物位、流量实验的现状,本教程编者团队在国家级精品课程、国家级精品资源共享课程“检测技术”课程的建设过程中,研制了远程开放式流量/液位综合检测平台,依托此实体平台和互联网,可不受时间、距离限制,开展多种流量、液位的无人值守、智能考评、远程、网上操作实体平台的虚拟/现实型综合设计实验。

4. 在信号分析方面,本教程采用基于虚拟仪器的系统构建方案,将数据实时采集到上位机,在此基础上实现传感器与检测系统及被测参量的性能和特性分析,符合现代检测技术的发展趋势。

本实验教程这样编排将有利于自动化专业本科生实际工程应用能力、创新能力的培养。

本实验教程由东南大学王晓俊主编,国家级精品课程、国家级精品资源共享课程“检测技术”课程负责人周杏鹏教授主审。东南大学祝学云老师参加了第5、6章的编写;本实验室王碧波、黄洲荣、沈后威、贺国睿、赵蓉蓉、葛颖森、黄永升、叶庆仕、罗鸿飞、唐路参与了本书的资料收集与整理、插图绘制等工作;周杏鹏教授主持设计、并由南京新思维自动化有限公司负责完成了远程开放式流量/液位综合检测实体实验平台研制;美国国家仪器有限公司在虚拟仪器架构方面提出了许多宝贵意见。对上述个人和单位表示诚挚的谢意。

在本书编著过程中,参考了许多有关的教材、专著、期刊、产品样本、技术手册,在此对本教材引用文献的有关作者一并表示感谢。

由于编者水平有限,本书不足或不当之处恳请广大读者批评指正。

编 者

2015年10月



第 1 章 绪论	1
1.1 检测技术及其发展	1
1.2 检测系统的一般构成	2
1.3 检测技术实验教学目的和任务	4
第 2 章 实验基础	6
2.1 实验与实验基本方法	6
2.2 检测技术实验基本步骤	7
2.3 检测技术实验操作规则与安全	8
2.4 实验报告的撰写方法	9
第 3 章 实验数据处理方法	11
3.1 测量误差	11
3.2 测量有效数字	13
3.3 实验数据的记录	14
3.4 实验数据处理的基本方法	15
3.5 检测系统主要特性测定与性能指标计算	17
第 4 章 虚拟仪器及设计	22
4.1 虚拟仪器介绍	22
4.2 myDAQ 虚拟仪器硬件	23
4.3 NI myDAQ 虚拟仪器应用	25
4.4 虚拟仪器软件设计	26
第 5 章 传感器原理实验	28
5.1 箔式应变片电桥性能实验	28
5.2 箔式电阻应变片各种桥路性能比较实验	34
5.3 半导体应变片性能	41
5.4 差动变压器原理实验	45
5.5 激励频率对电感式传感器的影响实验	50

5.6	压电效应原理实验(正向压电效应与逆向压电效应)	53
5.7	压电式传感器测量电路	56
5.8	超声波产生原理实验	60
5.9	光纤传感器原理实验(位移测量)	63
5.10	激光传感器实验	67
5.11	磁敏传感器实验	71
5.12	离子传感器实验	75
5.13	电容式传感器原理实验	78
5.14	扩散硅压力传感器原理实验	82
5.15	光敏电阻实验	86
5.16	P-N结温度传感器原理实验	90
5.17	磁电式传感器实验	93
第6章 传感器特性测试实验		97
6.1	电涡流式传感器特性实验	97
6.2	电涡流式传感器应用于材质判断实验	101
6.3	超声波式传感器探伤特性实验	104
6.4	霍尔传感器特性实验(直流激励和交流激励时的特性)	108
6.5	气敏传感器特性实验(对酒精敏感的气敏传感器的原理实验)	113
6.6	离子烟雾传感器实验	117
6.7	光纤位移传感器特性实验	120
第7章 机械量检测实验		125
7.1	电感式位移测量系统实验	125
7.2	电容式位移测量系统实验	134
7.3	电阻应变式位移测量系统实验	137
7.4	光栅位移测量系统演示实验	142
7.5	CCD位移测量系统演示实验	148
7.6	超声波测距方法实验	151
7.7	电容式角位移测量实验	155
7.8	用光电编码器测量角位移	160
7.9	电容式厚度测量实验	163
7.10	电涡流测厚仪实验	167
7.11	平均速度法测量物体运动速度实验	170
7.12	物体运动瞬时速度测量实验	174
7.13	多普勒测速方法演示实验	176
7.14	磁电频率式转速测量实验	179

7.15	光电频率式转速测量系统设计与实验	185
7.16	陀螺仪角速度测量演示实验	188
7.17	测速发电机转速测量实验	192
7.18	压电加速度计的标定与加速度测量实验	196
7.19	应变式加速度计测量实验	200
7.20	压阻式振动测量系统实验	204
7.21	振动分析方法与仪器使用实验	208
7.22	磁电式力平衡测力系统实验	211
7.23	位移式测力系统实验	215
7.24	压磁式力传感器测力实验	218
7.25	应变式转矩测量系统实验	222
7.26	扭转角式转矩测量方法实验	226
第8章 压力检测实验		230
8.1	液柱式压力测量方法实验	230
8.2	弹性压力计测压实验	233
8.3	压力传感器(应变式、扩散硅式)测压与性能比较实验 1	237
8.4	压力传感器(电容式、谐振式)测压与性能比较实验 2	241
8.5	光纤压力测量系统应用实验	247
8.6	压力测量系统的静态标定方法实验 1(标准压力法及标准表法)	251
8.7	压力测量系统的动态标定方法实验 2(稳态标定法)	256
第9章 温度检测实验		260
9.1	膨胀式温度计测温实验(液体膨胀式与固体膨胀式)	260
9.2	热电偶测温实验	265
9.3	热电阻测温实验	270
9.4	半导体测温实验	274
9.5	数字式温度计测温实验	277
9.6	光学高温计测温实验	280
9.7	比色高温计测温实验	283
9.8	红外测温实验	286
9.9	光纤测温技术应用实验	288
9.10	温度传感器动态特性测量实验	292
9.11	固体表面温度测量实验	294
第10章 物位检测实验		298
10.1	电阻式液位测量方法实验	298

10.2	电容式液位测量方法实验	302
10.3	超声波法液位测量实验	307
10.4	重锤探测法料位测量实验	311
10.5	音叉法料位测量实验	314
10.6	物位开关应用实验	316
10.7	相界面测量实验	320
第 11 章	流量检测实验	324
11.1	节流式流量计应用实验	324
11.2	容积式流量计应用实验	328
11.3	电磁流量计应用演示实验	333
11.4	超声波流量计实验	337
11.5	用皮托管测量流量实验	342
11.6	家用煤气表测量气体流量实验	345
第 12 章	综合与设计型实验	349
12.1	角位移、角速度检测系统设计与实验	349
12.2	相关法测速系统设计与实验	351
12.3	用光电位置敏感器测量位移、速度、加速度实验	353
12.4	油水气界面测量系统设计与实验	355
12.5	热敏电阻测温特性的线性化校正实验	357
12.6	仓库库房温度、湿度监控系统	360
12.7	小区路灯及楼道灯控制系统设计与实验	361
12.8	库区防进入监测与报警系统设计	364
附录 A	标准热电偶分度表	367
A.1	铂铑 30-铂铑 6 热电偶分度表(B 型)	367
A.2	铂铑 10-铂热电偶分度表(S 型)	368
A.3	铂铑 13-铂热电偶分度表(R 型)	371
A.4	镍铬-镍硅热电偶分度表(K 型)	371
A.5	镍铬-康铜热电偶分度表(E 型)	372
A.6	铁-康铜热电偶分度表(J 型)	373
A.7	铜-康铜热电偶分度表(T 型)	374
A.8	镍铬硅-镍硅热电偶分度表(N 型)	374
附录 B	标准热电阻分度表	376
B.1	Pt100 铂热电阻分度表(ZB Y301-85)	376

B.2 Pt10 铂热电阻分度表(ZB Y301-85)	376
B.3 Cu100 铜热电阻分度表(JJ G229-87)	377
附录 C 流量与液位综合检测实验平台使用说明	378
C.1 平台简介	378
C.2 流量与液位综合检测实验平台单元试验功能说明	381
C.3 注意事项	384
参考文献	387



1.1 检测技术及其发展

检测是指在生产、科研、试验及服务各个领域,为及时获得被测、被控对象的有关信息而实时或非实时地对一些参量进行定性检查和定量测量。

检测技术与我们的生产、生活密切相关,它是自动化领域的重要组成部分,尤其在自动控制系统中,如果对控制参数不能有效准确地检测,控制就成为“无源之水,无本之木”。对工业生产而言,采用各种先进的检测技术对生产全过程进行检查、监测,对确保安全生产,保证产品质量,提高产品合格率,降低能耗,提高企业的劳动生产率和经济效益是必不可少的。

随着世界各国现代化步伐的加快,对检测技术的需求与日俱增;而大规模集成电路技术、微型计算机技术、机电一体化技术、微机械和新材料技术的不断进步,则大大促进了检测技术的发展。目前,现代检测技术发展的总趋势大体有以下几个方面。

1. 不断拓展测量范围、可靠性,扩大应用范围

随着科学技术的发展,对检测仪器和检测系统的性能要求,尤其是精度、测量范围、可靠性指标的要求越来越高。目前,在超高温、超低温检测,混相流量、脉动流量,微差压(几十帕)、超高压等在线检测,高温高压下物质成分的实时检测等都存在大量亟须攻克的技术难题。

随着我国工业化、信息化步伐加快,各行各业高效率的生产更依赖于各种可靠的在线检测设备。努力研制在复杂和恶劣测量环境下能满足用户所需精度要求且能长期稳定工作的各种高可靠性检测仪器和检测系统将是检测技术的一个长期发展方向。

2. 重视非接触式检测技术研究

在检测过程中,把传感器置于被测对象上,灵敏地感知被测参量的变