

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

2011年上海市优秀教材

自动检测技术 及应用

第3版

梁森 欧阳三泰 王侃夫 编著

Automatic Detection Technology
and Application



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
2011年上海市优秀教材

自动检测技术及应用

第3版

梁 森 欧阳三泰 王侃夫 编著
郑崇苏 主审



机械工业出版社

本书介绍在工业、科研等领域常用传感器的工作原理、特性参数、调理电路、综合应用等知识,对测量技术的基本概念、测试数据处理、抗干扰技术、电磁兼容原理、现代测试技术以及虚拟仪器在检测技术中的应用等也做了介绍。

本书除第1章外,每章的最后一节均安排了“工程项目设计实例”,并附有较多的启发性思考题及应用型习题,有利于各校安排对应的课程设计。

本书在各个章节的适当位置嵌入了很多二维码,读者可以通过手机“扫一扫”观看有关内容的原理动画、图片、应用录像、参考文章等资料。每章的最后给出了“拓展阅读参考资料列表”,并在各章节的对应位置按顺序做了参考标记,以便于读者更好地理解学习本书各部分时所遇到的知识难点。所链接的拓展阅读网络资料的总字数超过20万字,可供读者在线阅读或下载。

本书配有免费的电子教案、电子课件、课程设计、实验、授课视频资料、动画、传感器应用的现场录像、专业拓展资料、有关图片、传感器公司网站链接、习题分析、答案等。欢迎选用本书作教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件至 wangkang_maizi9@126.com 索取。

本书可作为普通高等学校的机械设计制造及其自动化、机械电子、数控、汽车、农机、材料、能源、测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、智能楼宇、电子信息、感测技术等专业的本科生教材,或硕士研究生的参考教材,也可供生产、管理、运行及其他工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术及应用/梁森,欧阳三泰,王侃夫编著.—3版.

—北京:机械工业出版社,2018.1

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 2011年上海市优秀教材

ISBN 978-7-111-59731-5

I. ①自… II. ①梁… ②欧… ③王… III. ①自动检测—高等学校—教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第081848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:王康 责任编辑:王康 于苏华

责任校对:陈越 封面设计:鞠杨

责任印制:李昂

河北鹏盛贤印刷有限公司印刷

2018年7月第3版第1次印刷

184mm×260mm·23.75印张·580千字

标准书号:ISBN 978-7-111-59731-5

定价:56.00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

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

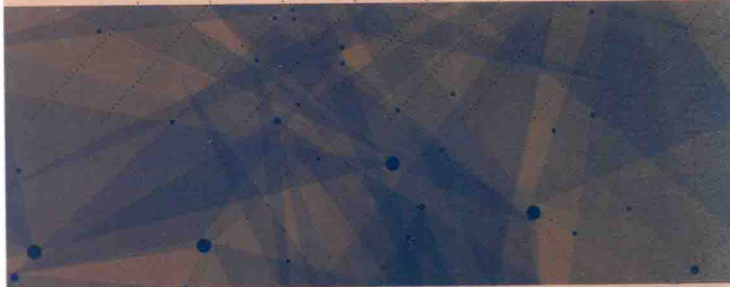
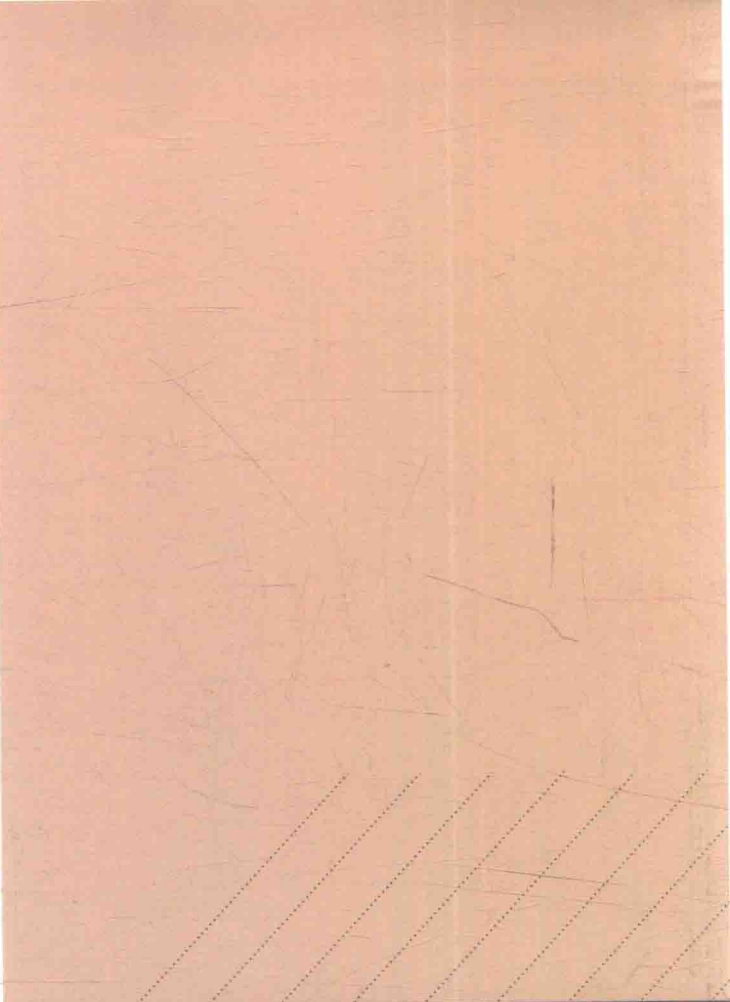
教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com



梁森教授，高级工程师，1947年生，1982年毕业于浙江大学科学仪器系。曾在上海发电设备成套设计研究院检测中心从事科研工作。1986年调入上海电机学院，从事传感器与检测技术的教学和科研工作。主编了《自动检测与转换技术》，入选普通高等教育国家精品教材、“十二五”职业教育国家规划教材等；主持了教育部精品课程建设。曾获上海市高校教学名师奖，上海市育才奖。指导学生先后3次获得全国大学生“挑战杯”竞赛二等奖，并获全国“挑战杯”优秀指导教师。2011年，主持修订了适合应用型本科的《自动检测技术及应用》第2版教材，入选“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。



电话服务
服务咨询热线：010-88379833
读者购书热线：010-88379649

网编服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金书网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版

为中华崛起传播智慧
地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037

策划编辑◎王康 / 封面设计◎鞠杨

前 言

《自动检测技术及应用》是“十二五”本科国家级规划教材，“十三五”国家重点出版物出版规划项目。根据高等教育培养目标的要求，本书力图使学生学完后能获得作为科研、工业领域工程师和技术人员所必须掌握的传感器、现代检测系统组成等方面的基本理论和综合应用技术。

本书共分13章，主要介绍在工业、科研等领域常用传感器的工作原理、特性参数、调理电路和综合应用等方面的知识，对测量技术的基本概念、测试数据处理、抗干扰技术、电磁兼容原理、现代测试技术、计算机接口技术以及虚拟仪器在检测技术中的应用等也做了介绍。

本书第1版发行于2006年，2011年修订为第2版，合计印刷20多次，受到广大读者的好评。随着检测技术的不断进步，有必要在保留第2版特色的基础上，对本书进行修订。

作者广泛听取众多读者的建议，删除了各章节中部分不常用的内容，将这部分内容共享到机械工业出版社教育服务网（www.cmpedu.com）上。增加了能反映本学科在近几年里的技术进步及最新成果的介绍。以较大篇幅介绍近几年出现并得到广泛应用的新型传感器，其素材大多来源于最近几年的国内外专利、文献、科技论文以及厂商网站等。在修订过程中，作者还先后深入几十家工控公司以及生产车间，了解、收集了众多传感器产品的技术资料、图片和实际应用，实地拍摄或测绘了许多图片，编入各章节中的有关应用实例和电路中。

针对本书以测量原理划分章节带来的不足，本次修订中，对经常遇到的诸如温度、压力、流量、液位、振动等被测量以及无损探伤、接近开关、位置检测、振动频谱分析、机器人传感器等内容在相关的章节中做了集中论述。

本书的第一个特色：在主要章目的最后一节，共安排了11个“工程项目设计实例”。相当部分内容是作者多年来从事科研开发、技术改造的成果总结。作者还依据众多工程技术人员的实际经验，从工程项目的技术指标和要求出发，介绍了具体的设计过程、传感器的选型、电路设计、系统调试、数据分析、项目总结等，具有较高的真实性和可参考性，有利于读者将所学理论知识应用于实际工作，还给学生的课程设计提供了样板。

本书的第二个特色：有较多的启发性思考题及应用型习题。尽量减少死记硬背的题型，要求学生灵活应用本章学过的知识来解决实际问题，一些习题还具有知识拓展的功能。还要求学生利用网络，收集有关资料，拓宽思路，并有利于不同专业方向的学校安排对应的课程设计。本书题量较大，有利于各校根据自己的专业方向来布置合适的作业。

本书的第三个特色：每章的最后给出了较多的拓展阅读网络参考资料列表，给出了链接网址，并在各章节的对应位置按顺序做了标记，以便于读者更好地理解学习本教材各部分时所遇到的知识难点。

所链接的拓展阅读网络资料的总字数超过 20 万字，读者可以有选择地上网阅读，或下载有兴趣的资料。作者将这些参考资料的标题和网址放到与本书配套的课程网站上，读者可以很方便地点击打开所要阅读的内容。

本书的第四个特色：作者为本书的出版建立了“传感器与检测技术教辅网站”，网址是：<http://www.liangsen.net> 以及 <http://www.sensor-measurement.net>。包含教学大纲、电子教案、多媒体课件、知识点、重点、难点、习题解题过程、答案、部分课程设计、实验、授课视频录像、对应的专业拓展资料、传感器的现场应用照片、传感器公司的网站链接、几十个动画、上千张实用照片和十几段现场使用录像，部分录像有英文和德文配音。学生在学习各章时，可以上网观看有关章节的内容，了解检测技术的发展历史，了解传感器的选型、安装、调试和使用，加深对课程内容的理解，增加学习本课程的兴趣，培养自主学习和终身学习的习惯。

本书的第五个特色：在各章节嵌入了二维码，读者用手机“扫一扫”，就可以打开对应的原理动画、应用录像、参考文献和现场应用图片等资料，丰富了读者的知识面。

本书可作为普通高等学校机械设计制造及其自动化、机械电子、数控、汽车、农机、材料、能源、测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、智能楼宇、电子信息、感测技术等专业的教材，或硕士研究生的参考教材，也可供生产、管理、运行及其他工程技术人员参考。本书的参考学时约为 54，各校可根据各自的专业方向，选讲有关的工程项目设计实例。

本书由上海电机学院梁森（绪论、第 2、3、4、5、6、8、9、10、12 章及统稿）、王侃夫（第 7、11 章），湖南工程学院欧阳三泰（第 1、13 章）编著。

福州大学郑崇苏担任本书的主审，对书稿进行了认真、负责、全面的审阅。

在本书的编写过程中，还得到上海交通大学朱承高、忻建华、金涛、阙沛文，上海大学朱铮良，上海电机学院苏中义、倪成凤、高桂革、周琴、王洋、王海群、刘桂英、韩美杰、李皎洁，湖南工程学院黄绍平、胡俊达，湖南科技大学吴新开，福州大学薛昭武，南通大学王士森，南京化工职业技术学院王永红，湘潭电缆厂张国琪，湘潭电机集团李庆莲，哈尔滨工业大学于石生，华北电力大学李春曦，北京理工大学徐晓彤，山东建筑大学罗明华，山东科技大学武超、上海理工大学孔凡才、谢根涛，北京信息科技大学孙军华、董明利、祝连庆、栗书贤，大理大学赵春平，湖南工程学院梁锦，上海商学院刘富强，杭州职业技术学院黄杭美，原上海机电工业学校阮智利，河南工业职业技术学院王煜东，温州职业技术学院徐虎，广西机电职业技术学院秦培林，山东外贸职业学院王明霄，上海电气自动化研究所张玉龙、周宜，上海发电设备成套设计研究院刘春林、肖伯乐，上海工业自动化仪表研究所范铠、姜世昌，上海重型机器厂陈克，上海精良电子公司段超，天津德国图尔克传感器公司李倚天，上海华东电子仪器厂朱美丽、郑学芳，杭州强牛网络科技有限公司何益崢、余维燕，上海轴承滚子厂黄吉平等专家、工程技术人员，以及德国 BLUM 公司、深圳康宇测控仪表公

司、北京世帝科学仪器公司、上海科先液压成套有限公司、中国石油天然气管道技术公司、上海 803 研究所、上海硅酸盐研究所、东方振动和噪声技术研究所、中国计量测试学会流量计量专业委员会、上海市计量测试技术研究院、铁道科学研究院、北京声振联合高新技术研究所、容向系统科技有限公司、化工 707、技成培训、电力专家联盟、中国机器人网、百度、互动百科、知乎等多家单位的大力支持。他们对本书的有关内容提出了许多宝贵意见或提供了有关资料、图片、动画、录像，作者在此一并表示衷心的感谢。

由于传感器技术发展较快，作者水平有限，本书内容难免存在遗漏和不妥之处，敬请读者批评指正。我们热诚希望本书能对从事和学习自动检测技术的广大读者有所帮助，并欢迎大家对本书的意见和建议通过 E-mail 告诉我们，邮箱地址是 liangsen2@126.com。需要授课 PPT、教案、授课录像及试卷等教学资源的教师可登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件至 wangkang_maizi9@126.com 索取。

作 者



配套资源总链接

目 录

前言	
绪论	1
0.1 检测技术在国民经济中的地位和作用	1
0.2 工业检测技术的内容	1
0.3 自动检测系统的组成	2
0.4 自动检测系统举例	3
0.5 检测技术的发展趋势	3
0.6 本课程的任务和学习方法	5
拓展阅读参考资料列表	6
第1章 检测技术的基本概念	7
1.1 测量的基本概念及方法	7
1.2 测量误差及数据处理	10
1.3 传感器及其基本特性	18
思考题与习题	24
拓展阅读参考资料列表	26
第2章 电阻传感器	28
2.1 电阻应变传感器	28
2.2 测温热电阻传感器	38
2.3 气敏电阻传感器	44
2.4 湿敏电阻传感器	47
2.5 工程项目设计实例——利用铂热电阻测控电烘箱温度	50
思考题与习题	57
拓展阅读参考资料列表	62
第3章 电感传感器	64
3.1 自感传感器	64
3.2 差动变压器传感器	70
3.3 电感传感器的应用	74
3.4 工程项目设计实例——电感传感器在轴承滚柱直径分选中的应用	78
思考题与习题	84
拓展阅读参考资料列表	86
第4章 电涡流传感器	88
4.1 电涡流传感器的工作原理	88
4.2 电涡流传感器的结构及特性	90
4.3 电涡流传感器的测量转换电路	91
4.4 电涡流传感器的应用	93
4.5 接近开关及应用	98
4.6 工程项目设计实例——电涡流传感器在棉花包金属检测中的应用	102
思考题与习题	105
拓展阅读参考资料列表	108
第5章 电容传感器	109
5.1 电容传感器的工作原理及结构形式	109
5.2 电容传感器的测量转换电路	115
5.3 电容传感器的应用	118
5.4 压力、液位和流量的测量	122
5.5 工程项目设计实例——利用电容压力传感器测量地面沉降	126
思考题与习题	130
拓展阅读参考资料列表	133
第6章 压电传感器	134
6.1 压电式传感器的工作原理	134
6.2 压电式传感器的测量转换电路	137
6.3 压电传感器的结构及应用	140
6.4 振动测量及频谱分析	143

6.5 工程项目设计实例——压电传感器 在齿轮箱故障诊断中的应用	149	思考题与习题	249
思考题与习题	157	拓展阅读参考资料列表	254
拓展阅读参考资料列表	159	第 11 章 数字式位置传感器	256
第 7 章 超声波传感器	160	11.1 位置测量方式	256
7.1 超声波的物理基础	160	11.2 角编码器	258
7.2 超声波换能器及耦合技术	165	11.3 光栅传感器	264
7.3 超声波传感器的应用	168	11.4 磁栅传感器	271
7.4 无损探伤	172	11.5 工程项目设计实例——鞋楦机的 数字化逆向制造系统	275
7.5 工程项目设计实例——超声波传感器 在铁路钢轨探伤中的应用	176	思考题与习题	280
思考题与习题	181	拓展阅读参考资料列表	283
拓展阅读参考资料列表	183	第 12 章 检测系统的抗干扰技术	285
第 8 章 霍尔传感器	184	12.1 噪声及防护	285
8.1 霍尔元件的工作原理及特性	184	12.2 检测技术中的电磁兼容原理	288
8.2 霍尔集成电路	186	12.3 几种电磁兼容控制技术	295
8.3 霍尔传感器的应用	188	12.4 工程项目设计实例——K 型热电偶 抗干扰放大器的设计	310
8.4 工程项目设计实例——油、气管道 腐蚀及裂纹的漏磁法探伤检测	193	思考题与习题	315
思考题与习题	198	拓展阅读参考资料列表	318
拓展阅读参考资料列表	200	第 13 章 传感器在现代检测系统中的 综合应用	320
第 9 章 热电偶传感器	201	13.1 现代检测系统的基本结构	320
9.1 温度测量的基本概念	201	13.2 基于虚拟仪器的检测系统	331
9.2 热电偶的工作原理	204	13.3 传感器在汽车中的应用	338
9.3 热电偶的种类及结构	206	13.4 传感器在数控机床中的应用	343
9.4 热电偶冷端的延长	209	13.5 传感器在机器人中的应用	346
9.5 热电偶的冷端温度补偿及集成 温度传感器	211	13.6 传感器在智能楼宇中的应用	350
9.6 热电偶的应用及配套仪表	213	思考题与习题	355
9.7 工程项目设计实例——热电偶在 热力学法测量水泵效率中的应用	216	拓展阅读参考资料列表	359
思考题与习题	220	附录	360
拓展阅读参考资料列表	222	附录 A 常用传感器的性能与 应用领域	360
第 10 章 光电传感器	223	附录 B 压力单位转换对照表	362
10.1 光电效应及光电元件	223	附录 C 工业热电阻分度表	363
10.2 光电元件的基本应用电路	231	附录 D 镍铬-镍硅(镍铝) K 型热 电偶分度表	364
10.3 光电传感器的应用	234	部分习题参考答案	368
10.4 光电开关与光电断续器	242	参考文献	369
10.5 工程项目设计实例——光电传感器 在带钢开卷机纠偏控制中的应用	244		

绪 论

检测 (Detection) 是利用各种物理、化学效应, 选择合适的方法与装置, 将生产、科研、生活等各个方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。能够自动地完成整个检测处理过程的技术称为自动检测技术。



绪论 拓展
阅读资料

在信息社会的一切活动领域中, 从日常生活、生产活动到科学实验, 时时处处都离不开检测。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平, 而科学技术的发展又为自动检测技术提供了新的理论基础和制造工艺, 同时又对自动检测技术提出了更高的要求。

0.1 检测技术在国民经济中的地位和作用

检测技术是现代化领域中的重要技术, 在工农业生产、生活和科研中有广泛的应用。

在机械制造行业中, 通过对机床的许多静态、动态参数如工件的加工准确度、切削速度、床身振动等进行在线检测, 从而控制加工质量。在化工、电力等行业中, 如果不随时对生产工艺过程中的温度、压力、流量等参数进行自动检测, 生产过程就无法控制进而产生危险。在交通领域, 现代汽车中的传感器就有几十种之多, 分别用来检测车速、方位、负载、振动、油压、油量、温度、燃烧过程等。在国防科研中, 检测技术的应用更广泛, 许多尖端的检测技术都是因国防工业的需要而发展起来的。例如, 研究飞机的强度, 就要在机身、机翼上贴上几百片应变片并进行动态测量; 在导弹和航天器的研制中, 检测技术就更为重要, 必须对它们的每个构件进行强度和动态特性的测试、EMC 试验等。近年来, 随着家电行业的迅猛发展, 检测技术也进入了人们的日常生活中, 例如, 自动检测并按需调节房间温度和湿度的空调机; 自动检测衣服污度和重量、采用模糊技术的智能洗衣机; 通过 WiFi 摄像头远程监视房间情况的手机系统等。

近几十年来, 自动控制理论和计算机技术迅速发展, 并已应用到生产和生活的各个领域。但是, 作为“感觉器官”的传感器技术并没有与计算机技术协调发展, 出现了信息处理功能发达, 检测功能不足的局面。目前许多国家已投入大量人力、物力, 发展各类新型传感器, 检测技术在国民经济中的地位也日益提高。

0.2 工业检测技术的内容

自动检测技术的内容较为广泛, 常见的自动检测涉及的内容如表 0-1 所示。

表 0-1 工业检测涉及的内容

被测量类型	被 测 量	被测量类型	被 测 量
热工量 ^[1]	温度、热量、比热容、热流、热分布、压力（压强）、差压、真空度、流量、流速、物位、液位、界面	物体的性质和成分量	气体、液体、固体的化学成分、浓度、黏度、湿度、密度、酸碱度、浊度、透明度、颜色
机械量 ^[2]	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量（重量）、机器人姿势	状态量	工作机械的运动状态（起停等）、生产设备的异常状态（超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等）
几何量 ^[3]	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷	电工量	电压、电流、功率、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能

显然，在生产、科研、生活中，需要检测的量远不止表中所列举的项目。而且随着自动化技术的发展，工业生产将对检测技术提出越来越高的要求。本书主要介绍非电量的检测，对电工和电子课程中未讲述的一些电量的测量也做了简要介绍。

0.3 自动检测系统的组成

非电量的检测多采用电测法，即首先将各种非电量转变为电量，然后经过一系列的处理，将非电量参数显示出来，自动检测系统原理框图如图 0-1 所示。

(1) 系统框图 系统框图 (System Block Diagram) 用于表示一个系统各部分和各环节之间的关系，用来描述系统的输入、输出、中间处理等基本功能和执行逻辑过程的概念模式。在产品说明书和科技论文中，系统框图能够清晰地表达比较复杂的系统各部分之间的关系及工作原理。

在检测系统中，将各主要功能或电路的名称画在框内，按信号的流程，将几个框用箭头联系起来，有时还可以在箭头上标出信号的名称。对具体的检测系统或传感器而言，必须将框图中的各项赋予具体的内容。

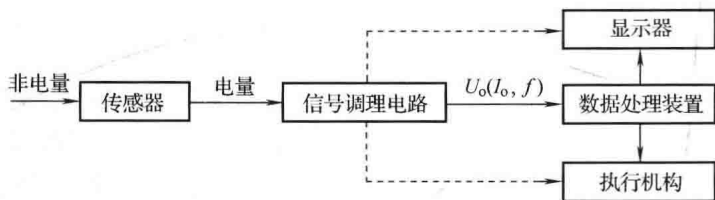


图 0-1 自动检测系统原理框图

(2) 传感器 传感器 (Transducer) 在本教材中是指一个能将被测非电量变换成电量的器件 (传感器的确切定义见第 1.3 节)。

(3) 信号调理电路 信号调理电路^[4] (Signal Conditioning) 包括放大 (或衰减) 电路、滤波电路、隔离电路等。放大电路的作用是把传感器输出的电量变成具有一定驱动和传输能力的电压、电流或频率信号等，以推动后级的显示器、数据处理装置及执行机构。

(4) 显示器 目前常用的显示器 (Monitor) 有以下几种：模拟显示、数字显示、图像显示及记录仪等。模拟量是指连续变化量；模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来表示读

数的,常见的有毫伏表、微安表、模拟光柱等。

数字显示目前多采用液晶^[6] (LCD) 和发光二极管^[5] (LED) 等,以数字的形式来显示读数。LCD 耗电少,集成度高,可以显示文字和曲线。有时还可用图表或彩色图等形式来反映整个生产线上的多组数据。带背光板的 LCD 便于在夜间观看。LED 剪亮度高、耐振动、可适应较宽的温度范围。

记录仪主要用来记录被检测对象的动态变化过程,常用的记录仪有笔式记录仪、高速打印机、绘图仪、数字存储示波器、磁带记录仪、无纸记录仪等。

(5) 数据处理装置 数据处理装置 (Data Processing) 用来对测试所得的实验数据进行处理、运算、逻辑判断、线性变换,对动态测试结果做频谱分析 (Spectrum Analysis) 等,完成这些工作必须采用计算机技术。

数据处理的结果通常送到显示器和执行机构中去,以显示运算处理的各种数据或控制各种被控对象。在不带数据处理装置的自动检测系统中,显示器和执行机构由信号调理电路直接驱动,如图 0-1 中的虚线所示。

(6) 执行机构 所谓执行机构通常是指各种继电器 (Relay)、电磁铁 (Solenoid)、电磁阀^[7] (Solenoid Valve)、电动调节阀^[8] (Solenoid Regulating Valve)、伺服电动机^[9] (Servo Motor) 等,它们在电路中是起通断、控制、调节、保护等作用的电器设备。许多检测系统能输出与被测量有关的电流或电压信号,作为自动控制系统的控制信号,去驱动这些执行机构。

0.4 自动检测系统举例

当代检测系统越来越多地使用计算机或微处理器来控制执行机构的工作。检测技术、计算机技术与执行机构等配合构成各种自动控制系统。图 0-2 所示的自动磨削测控系统就是自动检测的一个典型例子。图中的传感器快速检测出工件的直径参数 D , 计算机一方面对直径参数做一系列的运算、比较、判断等工作,然后将有关参数送到显示器显示出来;另一方面发出控制信号,控制研磨盘^[10] 的径向位移 x , 直到工件加工到规定要求为止。该系统是一个自动检测与控制的闭环系统,也称反馈控制系统^[11]。

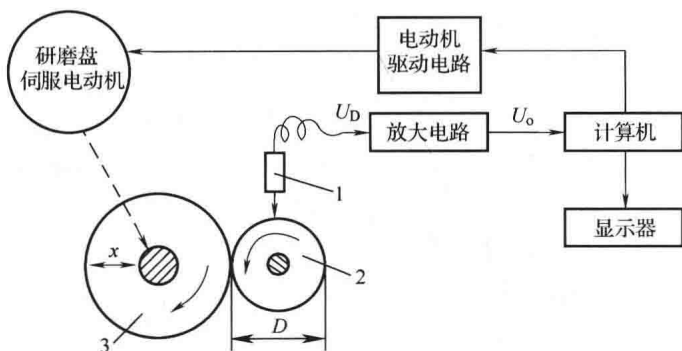


图 0-2 自动磨削测控系统

1—传感器 2—被研磨工件 3—研磨盘

0.5 检测技术的发展趋势

近年来,随着半导体、计算机技术的发展,新型或具有特殊功能的传感器不断涌现出

来,检测装置也向小型化、固态化及智能化方向发展,应用领域也越来越广。上至太空,下至井下、海底,大到工业生产系统,小到家用电器、个人用品,人们都可以发现自动检测技术的广泛运用。当前,检测技术的发展趋势主要体现在以下几个方面:

1. 不断提高检测系统的测量准确度、扩大量程范围、延长使用寿命、提高可靠性

随着科学技术的不断发展,对检测系统测量精度的要求也相应地在提高。近年来,人们研制出许多高准确度的检测仪器以满足各种需要。例如,用直线光栅测量直线位移时,测量范围在十米以上,而分辨力可达微米级。人们已研制出能测量低至几个帕的微压力和高至几千兆帕高压的压力传感器,开发了能够测出极微弱磁场的磁敏传感器等。

从20世纪60年代开始,人们对传感器的可靠性和故障率^[12]的数学模型进行了大量的研究,使得检测系统的可靠性及寿命大幅度提高。现在许多检测系统可以在极其恶劣的环境下连续工作数十万小时。目前人们正在不断努力进一步提高检测系统的各项性能指标。

2. 应用新技术和新的物理、化学效应,开拓检测领域

检测原理大多以各种物理效应为基础,近代物理学的进展如纳米技术、激光、红外、超声、微波、光纤、放射性同位素等新成就都为检测技术的发展提供了更多的依据。如图像识别、激光测距、红外测温、C型超声波无损探伤、放射性测厚、中子探测爆炸物^[13]等非接触测量得到迅速的发展。

20世纪70年代以前,检测技术主要用于工业部门。如今,检测领域正扩大到整个社会的各个方面。不仅包括工程、海洋开发,宇宙航行等尖端科学技术和新兴工业领域,而且已涉及生物、医疗、环境污染监测、危险品和毒品的侦察、安全监测等方面,并且已开始渗透到人们的日常生活之中。

3. 发展集成化、功能化的传感器

随着半导体集成电路技术的发展,硅和砷化镓电子元器件的高度集成化大量地向传感器领域渗透。人们将传感元件与信号调理电路制作在同一块硅片上,从而研制出体积更小、性能更好、功能更强的传感器。例如,已研制出高准确度的PN结测温集成电路。又如,人们已能将排成阵列的上千万个光敏元件及扫描放大电路制作在一块芯片上,制成彩色CCD数码照相机、摄像机以及可摄影的手机等。今后还将在光、磁、温度、压力等领域开发出新型的集成度更高的传感器。

4. 采用计算机技术,使自动检测技术更加智能化

自20世纪70年代微处理器问世以来,人们已将计算机技术应用到测量技术中,使检测仪器智能化,从而扩展了功能,提高了准确度和可靠性,目前研制的检测系统大多都带有微处理器。

5. 发展机器人传感器

机器人是由计算机控制的复杂机器,它具有类似人的肢体及感官功能;动作程序灵活;具有一定程度的智能;在工作时可以不依赖人的操作。机器人传感器在机器人的控制中起了非常重要的作用,正因为有了传感器,机器人才具备了类似人的知觉功能和反应能力。

机器人上安装了触觉传感器、视觉传感器、力觉传感器、接近觉传感器、超声波传感器、听觉传感器以及语言识别系统,使其能够完成复杂的工作。

6. 发展无线传感器网络检测系统

随着微电子技术的发展,现在已可以将十分复杂的信号调理和控制电路集成到单块芯片中。传感器的输出不再是模拟量,而是符合某种协议格式(如可即插即用)的数字信号。通过企业内外网络实现多个检测系统之间的数据交换和共享,构成网络化的检测系统。还可以远在千里之外,随时随地浏览现场工况,实现远程调试、远程故障诊断、远程数据采集和实时操作^[14]。

无线传感器网络^[15](Wireless Sensor Network, WSN)是由大量微型、低成本、低功耗的静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络,以协作形式,感知、采集、处理和传输该网络覆盖地理区域内被感知对象的信息,并最终把这些信息发送给网络的所有者。无线传感器网络通常具备“自组织性”,能够适应网络拓扑结构的动态变化,并具有鲁棒性^[16]和容错性。为了获取精确的信息,在监测区域部署的传感器节点可能达到成千上万。在无线传感器网络的使用过程中,部分传感器节点由于电能耗尽或环境因素造成失效。为了弥补失效节点或增加监测准确度,需要将新的传感器补充到网络中,从而导致传感器网络中的节点个数动态地增加或减少。

无线传感器网络可监测包括地震、电磁、温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等周边环境中多种多样的数据。潜在的应用领域包括:远程战场、航空、防爆、救灾、环境、医疗、保健、家居、工业、商业等。

总之,自动检测技术的蓬勃发展适应了国民经济发展的迫切需要,是一门充满希望和活力的新兴技术,目前取得的进展已十分瞩目,今后还将有更大的发展。

0.6 本课程的任务和学习方法

本课程的任务是:在阐明测量基本原理的基础上,使读者逐一了解各种常用传感器如何将非电量转换为电量,掌握相应的测量转换、信号调理电路和应用。对误差处理、弹性元件、电磁兼容原理及抗干扰技术也给予适当的介绍,对自动检测技术的综合应用以及现代测试系统,举了较多的实例,以使读者能解决工作现场的实际问题。

本课程涉及的学科面广,需要有较广泛的基础、专业知识和适当的理论知识。学好这门课程的关键在于理论联系实际,要举一反三,富于联想,善于借鉴,关心和观察周围的各种机械、电气、仪表等设备,重视实验,才能学得活、学得好。

本书各章均附有数量较多的思考题与习题,引导读者循序渐进地掌握检测技术的基本概念和实际应用能力。读者可根据自身的专业方向选做其中的一部分。对本书中的分析、思考题及应用型设计题,可利用讨论课的方式来学习和掌握。读者还必须掌握上网查阅资料的技巧,收集网上有关资料后,才能完成课后的一些习题,这种训练方法有利于读者掌握最新的技术发展和学科动态。

读者还可以从本书的配套教辅网站(www.liangsen.net或<http://www.sensor-measurement.net>)和“机械工业出版社教育服务网”(www.cmpedu.com)下载多媒体课件、习题分析和拓展阅读资料,了解检测技术的发展历史,了解传感器的选型、安装、调试和使用,以便于更好地理解本书中的知识难点。

拓展阅读参考资料列表

序号	作者	拓展阅读文章题目	序号	作者	拓展阅读文章题目
1	张华	热工测量仪表	9	百度百科	伺服电动机
2	Beckwith T. G.	机械量测量	10	百度百科	砂轮
3	百度百科	几何量测量	11	百度百科	闭环系统
4	郭斌, 欧阳焯	微弱信号调理电路和模数转换电路的探讨	12	百度百科	失效率
5	百度百科	LED 显示器	13	颜志国, 成诚	中子探测技术在安全检查中的应用
6	百度百科	液晶显示器	14	童利标, 徐科军	IEEE 1451 网络化智能传感器标准的发展及应用探讨
7	百度百科	电磁阀	15	百度百科	无线传感器网络
8	上海工业自动化仪表研究所	调节阀、控制阀及通用阀门	16	百度百科	鲁棒性

第1章

检测技术的基本概念

人类生产力的发展促进了测量技术的进步。商品交换必须有统一的度、量、衡；天文、地理也离不开测量；17世纪工业革命后对测量提出了更高的要求，如蒸汽机必须配备压力表、温度表、流量计、水位表等仪表。现代社会要求测量必须达到更高的准确度，更小的误差，更快的速度，更高的可靠性，测量的方法也日新月异。本章主要介绍测量的基本概念与方法、误差分类、测量结果的数据处理，以及传感器的基本特性等内容，是传感器与检测技术的理论基础。



1.1 测量的基本概念及方法

1.1.1 测量的一般概念

1.1 拓展阅读资料

测量^[1] (Measurement) 是指借助专门的技术和仪表设备，采用一定的方法取得某一客观事物定量数据资料的实践过程。

所谓“定量”，就是使用一定准确度等级的测量仪器、仪表，比较准确地测得被测量的数值。例如，用电子天平测量大气尘降，可以精确到0.1mg；又如，用磁敏电阻可以测出地球磁场万分之一的变化，从而可以用于探矿或判定海底沉船的位置。

测量过程实质上是一个比较的过程，即将被测量与一个同性质的、作为测量单位的标准量进行比较，从而确定被测量是标准量的若干倍或几分之几的比较过程。用天平测量物体的质量就是一个典型的例子。

测量结果可以表现为一定的数字，也可表现为一条曲线，或者显示成某种图形等，测量结果包含数值（大小和符号）以及单位。

1.1.2 测量方法分类

对于测量方法，从不同的角度出发，有不同的分类方法。根据被测量是否随时间变化，可分为静态测量和动态测量。例如，用激光干涉仪对建筑物的缓慢沉降进行长期监测就属于静态测量；又如，用光导纤维陀螺仪测量火箭的飞行速度、方向就属于动态测量。

根据测量的手段不同，可分为直接测量和间接测量。用标定的仪表直接读取被测量的测量结果，称为直接测量。例如，用磁电式仪表测量电流、电压；用离子敏MOS场效应晶体管测量pH值等。间接测量的过程比较复杂，首先要对几个与被测量有确定函数关系的量进