



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级一流本科课程配套教材
21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材

华中科技大学“双一流”建设机械工程学科系列教材

工程测试技术基础

主编 廖广兰 何岭松 刘智勇
主审 史铁林

GONGCHENG CESHI JISHU JICHU



本书配备
数字资源



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级一流本科课程配套教材
21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材
华中科技大学“双一流”建设机械工程学科系列教材

工程测试技术基础

主 编 廖广兰 何岭松 刘智勇

主 审 史铁林

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在编写中,本书根据“三个面向”的教育思想,整合了相关内容,精简基础理论,突出工程实践与应用。全书包括十余个章节。绪论部分介绍测试技术的基本概念、工程应用及未来发展趋势;其余十章分为上、下两篇,主要内容包括信号的波形分析、信号的频域分析、信号的幅值域分析、信号的时差域相关分析、信号的时频域分析、数字信号的滤波、传感器技术、信号调理技术、测试系统的特性与计算机化测试系统等。本书为中国大学 MOOC(慕课)“工程测试技术基础”配套教材,读者可通过网址 <https://www.icourse163.org/> 访问相关教学视频。

本书汲取了当代新理论和新技术研究成果。基础理论部分沿测试流程主线逐次论述,条理清晰、分析透彻;应用部分列举了大量来源于科研及生产实践的实例。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为其他机械类和非机械类专业的教材,还可作为企业和科研单位技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测试技术基础/廖广兰,何岭松,刘智勇主编. —武汉:华中科技大学出版社,2021.9
ISBN 978-7-5680-7492-6

I. ①工… II. ①廖… ②何… ③刘… III. ①工程测量-高等学校-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 170137 号

工程测试技术基础

GongCheng Ceshi Jishu Jichu

廖广兰 何岭松 刘智勇 主编

策划编辑: 万亚军

责任编辑: 邓 薇

封面设计: 原色设计

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编: 430223

录 排: 华中科技大学惠友文印中心

印 刷: 武汉开心印印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 17.75

字 数: 461 千字

版 次: 2021 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 49.80 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问： 姚福生 黄文虎 张启先
(工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

谢友柏 宋玉泉 艾 兴
(工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

熊有伦
(科学院院士)

主任： 杨叔子 周 济 李培根
(科学院院士) (工程院院士) (工程院院士)

丁 汉
(科学院院士)

委员： (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一 王书亭 王安麟 王连弟 王明智
毛志远 左武炘 卢文祥 朱承高 师汉民
刘太林 李 斌 杜彦良 杨家军 吴昌林
吴 波 吴宗泽 何玉林 何岭松 陈康宁
陈心昭 陈 明 陈定方 张春林 张福润
张 策 张健民 冷增祥 范华汉 周祖德
洪迈生 姜 楷 殷国富 宾鸿赞 黄纯颖
童秉枢 傅水根 廖效果 黎秋萍 戴 同

秘书： 俞道凯 万亚军

二维码资源使用说明

本书配套数字资源以二维码的形式在书中呈现,读者第一次利用智能手机在微信端扫码成功后提示微信登录,授权后进入注册页面,填写注册信息。按照提示输入手机号后点击获取手机验证码,稍等片刻收到4位数的验证码短信,在提示位置输入验证码成功后,重复输入两遍设置密码,点击“立即注册”,注册成功(若手机已经注册,则在“注册”页面底部选择“已有账号?绑定账号”,进入“账号绑定”页面,直接输入手机号和密码,提示登录成功)。接着提示输入学习码,需刮开教材封底防伪涂层,输入13位学习码(正版图书拥有的一次性使用学习码),输入正确后提示绑定成功,即可查看二维码数字资源。手机第一次登录查看资源成功,以后便可直接在微信端扫码登录,重复查看本书所有的数字资源。

友好提示:如果读者忘记登录密码,请在PC端输入以下链接 <http://jixie.hustp.com/index.php?m=Login>,先输入自己的手机号,再单击“忘记密码”,通过短信验证码重新设置密码即可。

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序 一

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师和学生们的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械工程控制基础》《机电传动控制》《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作，对机械工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用，现在看来，这一目标很好地达到了，让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确：“人非尧舜，谁能尽善？”我始终认为，金无足赤，人无完人，文无完文，书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩，但毫无疑问，这套书中，某本书中，这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足，必然会存在。何况形势

总在不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学科有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的成绩,是几代机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展原教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一起一定能将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识不是终结,进步没有止境。“嚶其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士

丁汉
2009.9.9

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序 二

制造业是立国之本,兴国之器,强国之基。当今世界正处于以数字化、网络化、智能化为主要特征的第四次工业革命的起点,世界各大强国无不把发展制造业作为占据全球产业链和价值链高端位置的重要抓手,并先后提出了各自的制造业国家发展战略。我国要实现加快建设制造强国、发展先进制造业的战略目标,就迫切需要培养、造就一大批具有科学、工程 and 人文素养,具备机械设计制造基础知识,以及创新意识和国际视野,拥有研究开发能力、工程实践能力、团队协作能力,能在机械制造领域从事科学研究、技术研发和科技管理等工作的高级工程技术人员。我们只有培养出一大批能够引领产业发展、转型升级和创造新兴业态的创新人才,才能在国际竞争与合作中占据主动地位,提升核心竞争力。

自从人类社会进入信息时代以来,随着工程科学知识更新速度加快,高等工程教育面临着学校教授的课程内容远远落后于工程实际需求的窘境。目前工业互联网、大数据及人工智能等技术正与制造业加速融合,机械工程学科在与电子技术、控制技术及计算机技术深度融合的基础上还需要积极应对制造业正在向数字化、网络化、智能化方向发展的现实。为此,国内外高校纷纷推出了各项改革措施,实行以学生为中心的教学改革,突出多学科集成、跨学科学习、课程群教学、基于项目的主动学习的特点,以培养能够引领未来产业和社会发展的领导型工程人才。我国作为高等工程教育大国,积极应对新一轮科技革命与产业变革,在教育部推进下,基于“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”,各高校积极开展新工科建设,取得了一系列成果。

国家“十四五”规划纲提出要建设高质量的教育体系。而高质量的教育体系,离不开高质量的课程和高质量的教材。2020年9月,教育部召开了在我国教育和教材发展史上具有重要意义的首届全国教材工作会议。近年来,包括华中科技大学在内的众多高校的机械工程专业结合自身的办学特色,引入先进的教育理念,在专业建设、人才培养模式、教学内容、教学方法、课程建设等方面积极开展教学改革,取得了较好的效果,建设了一大批优质课程。为了将这些优秀的教学改革

经验和教学内容推广给全国高校,华中科技大学出版社联合华中科技大学在内的一批高校,在“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”的基础上,再次组织修订和编写了一批教材,以支持我国机械工程专业的人才培养。具体如下:

(1)根据机械工程学科基础课程的边界再设计,结合未来工程发展方向修订、整合一批经典教材,包括将画法几何及机械制图、机械原理、机械设计整合为机械设计理论与方法系列教材等。

(2)面向制造业的发展变革趋势,积极引入工业互联网及云计算与大数据、人工智能技术,并与机械工程专业相关课程融合,新编写智能制造、机器人学、数字孪生技术等教材,以开拓学生视野。

(3)以学生的计算分析能力和问题解决能力、跨学科知识运用能力、创新(创业)能力培养为导向,建设机械工程学科概论、机电创新决策与设计等相关课程教材,培养创新引领型工程技术人才。

同时,为了促进国际工程教育交流,我们也规划了部分英文版教材。这些教材不仅可以用于留学生教育,也可以满足国际化人才培养需求。

需要指出的是,随着以学生为中心的教学改革的深入,借助日益发展的信息技术,教学组织形式日益多样化;本套教材将通过互联网链接丰富多彩的教学资源,把各位专家的成果展现给各位读者,与各位同仁交流,促进机械工程专业教学改革的发展。

随着制造业的发展、技术的进步,社会对机械工程专业人才的培养还会提出更高的要求;信息技术与教育的结合,科研成果对教学的反哺,也会促进教学模式的变革。希望各位专家同仁提出宝贵意见,以使教材内容不断完善提高;也希望通过本套教材在高校的推广使用,促进我国机械工程教育教学质量的提升,为实现高等教育的内涵式发展贡献一份力量。

中国科学院院士

2021年8月

前 言

测试技术作为一项共性技术在工业生产与科学研究的各个领域都有着广泛的应用。随着科学技术的不断进步,产品信息化、数字化、智能化的趋势愈加明显,测试技术正日益成为科技发展水平的重要标志。近年来,5G 数字化时代的到来极大地推动了物联网、智能制造、大数据、无人驾驶、智能机器人、VR(virtual reality,虚拟现实)等新兴领域的高速发展,而测试技术则是其发展的基础。我国许多高等工科院校自 20 世纪 80 年代以来都相继开设了“测试技术”这门课,对机械与测控类专业而言,这门课更是一门重要的专业基础课。在长期的教学实践过程中,编者发现,学生普遍存在难以将抽象物理概念与工程实践相联系的问题,缺乏灵活运用测试技术解决实际工程问题的能力。随着高等工科教育改革的不断深化,如何突出和加强大学生的工程实践与创新能力成为全社会普遍关注的问题。

邓小平同志曾提出“三个面向”的教育思想,强调现代教育要适应科学技术和社会、经济的发展变化,培养高质量、适应新时代发展需求的人才。习近平同志也曾强调要在新时代新形势下抓住机遇、超前布局,以更高远的历史站位、更宽广的国际视野、更深邃的战略眼光,加快推进教育现代化建设。

为此,编者根据普通高等教育“十一五”国家级教材出版规划,依托华中科技大学出版社,组织有关教师编写了这本面向工程实践教育的工程测试技术基础教材。为使学生更加易于理解、掌握和应用,在信号分析部分给出了标准信号生成、声音信号频谱分析等大量 MATLAB 应用实例,在传感器部分则给出了温度传感器、超声传感器等 Arduino 应用实例,突出了理论与实践、知识与应用的结合。这是一部在内容、体系等方面具有较大改革力度的教材,将为培养卓越工程技术人才奠定基础。

本教材的绪论部分,主要介绍测试技术的基本概念、工程应用,以及未来发展趋势。正题部分分为上、下两篇。上篇共 6 章,主要论述信号分析技术。第 1 章介绍信号的分类、采样与经典的波形分析;第 2 章介绍信号的频域分析;第 3 章介绍信号的幅值域分析;第 4 章介绍信号的时差域相关分析;第 5 章介绍信号的时频域分析;第 6 章介绍数字信号的滤波。下篇共 4 章,主要论述传感器技术与测试系统。第 7 章介绍工程中常用传感器的转换原理、组成、分类与应用;第 8 章介绍信号调理技术;第 9 章介绍测试系统的基本特性及其分析评价方法;第 10 章介绍计算机化测试系统的原理、构成与发展概况。本教材配套有中国大学 MOOC(慕课)教学视频,读者可通过 <https://www.icourse163.org/> 免费获取。

本教材充分结合了当代最新技术,经过多次教学实践和教学改革后逐步形成,其内容沉淀了近 30 年的教学经验和成果。20 世纪 90 年代中期,计算机多媒体技术的普及和应用,康宜华教授、史铁林教授等建立了多媒体电子教案,使教学内容、手段和方法提升到一个新的台阶;20 世纪 90 年代后期,Internet 开始出现并普及,何岭松教授结合自己的科研成果建立了“工程测试技术基础网上虚拟实验室”,取得了良好的教学效果,获得了国内外同行的高度评价;进入

21 世纪,虚拟仪器技术开始进入实验教学领域,何岭松教授将科研成果转化为教学资源,开发出以拥有自主知识产权的可重构虚拟仪器技术为基础的测试技术创新实验室。长期的教学实践,使得这门课程的教学日臻完善,也逐步形成了特色,取得了良好的教学效果:“工程测试网上虚拟教学的研究与实践”1998 年获华中理工大学教学成果一等奖;“机械工程测试技术课程网络化教学探索”2001 年获国家级教学成果二等奖;“工程测试技术基础”课程获湖北省优质课程,被评为湖北省精品课程、国家精品课程、国家级一流课程(金课)等。本教材正是依托这些宝贵经验和成果总结而来。本教材中:基础理论部分沿测试流程主线逐次论述,条理清晰,分析透彻;应用部分列举了大量实例,这些实例来源于科研及生产实践。更具特色的是,本教材中较多较好地汲取了当代新理论和新技术研究成果。因此,本教材既便于教学和自学,也能供科研、设计人员及其他工程技术人员借鉴。本教材可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为机械类和非机械类相关专业的教材,还可作为企业和科研单位技术人员的参考书。

本教材根据前期相关教材的教学实践发展而来,由廖广兰教授、何岭松教授等人共同完成。何岭松教授、廖广兰教授为本课程的设置与改革、教学内容与体系的建立、大纲的修订、教材的校核等做出了重要贡献;刘智勇讲师负责绪论与 1~6 章的编写与修订,以及全书的编排与校对;冯搏讲师负责第 7~10 章的编写及修订。全书由廖广兰教授统稿,史铁林教授审稿,电子教案内容主要由何岭松教授完成。本教材中图稿的绘制与编排得到了编者所在课题组的成员刘星月博士、叶海波博士生、张许宁博士生、何春华博士生、韩京辉博士生、杨世源硕士生、熊美明硕士生的大力支持。

本教材在编写和长期教学研究中,始终得到了杨叔子院士等老一辈科学家的指点和帮助,课程建设得到了华中科技大学教务处的一贯支持,教材出版获得了华中科技大学出版社的大力支持,教材编写过程中还参考和借鉴了大量有关测试技术方面的教材和论著,在此对相关人士表示衷心的感谢。由于测试技术在不断发展、该课程的教学仍在不断改革和发展,加上时间紧迫和编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者
2021 年 6 月

目 录

绪论	(1)
0.1 测试技术的基本概念	(1)
0.2 测试技术的工程应用	(5)
0.3 测试技术的发展趋势	(12)
0.4 主要传感器和测试仪器生产商	(15)
习题	(16)

上篇 信号分析

第 1 章 信号的波形分析	(19)
1.1 信号的分类	(19)
1.2 采样定理	(26)
1.3 信号分析中的标准函数	(34)
1.4 标准信号的产生	(39)
1.5 信号的波形分析	(43)
习题	(46)
第 2 章 信号的频域分析	(47)
2.1 频域分析的概念	(47)
2.2 周期信号的傅里叶变换	(51)
2.3 非周期信号的傅里叶变换	(63)
2.4 特殊信号的傅里叶变换	(64)
2.5 傅里叶变换的基本性质	(70)
2.6 离散傅里叶变换与快速傅里叶变换	(71)
2.7 FFT 算法的误差分析	(87)
2.8 频域分析的应用	(93)
习题	(94)
第 3 章 信号的幅值域分析	(96)
3.1 信号的概率密度函数与直方图	(96)
3.2 信号的概率分布函数	(100)
3.3 幅值域分析的工程应用	(104)
习题	(106)
第 4 章 信号的时差域相关分析	(107)
4.1 相关分析的概念	(107)
4.2 相关函数的性质	(110)
4.3 相关函数的计算	(113)
4.4 相关分析的工程应用	(115)

习题	(119)
第 5 章 信号的时频域分析	(120)
5.1 时变信号分析的意义	(120)
5.2 短时傅里叶变换	(122)
5.3 小波变换	(128)
习题	(133)
第 6 章 数字信号的滤波	(134)
6.1 滤波的概念	(134)
6.2 频域滤波	(141)
6.3 时域滤波和 Z 变换	(145)
6.4 有限冲激响应滤波器	(149)
6.5 无限冲激响应滤波器	(150)
习题	(152)

下篇 传感器技术与测试系统

第 7 章 传感器技术	(155)
7.1 传感器技术概述	(155)
7.2 电阻式传感器	(157)
7.3 电感式传感器	(170)
7.4 电容式传感器	(178)
7.5 磁电传感器	(181)
7.6 压电传感器	(184)
7.7 霍尔传感器	(190)
7.8 光电传感器	(193)
7.9 图像传感器	(195)
7.10 热电偶	(198)
7.11 光纤传感器	(202)
7.12 光栅传感器	(205)
7.13 生物传感器	(206)
7.14 传感器选型	(209)
习题	(210)
第 8 章 信号调理技术	(213)
8.1 信号调理技术概述	(213)
8.2 模拟信号的放大	(214)
8.3 桥式电路	(221)
8.4 模拟信号的滤波	(226)
8.5 模拟信号的调制与解调	(233)
习题	(242)
第 9 章 测试系统的特性	(244)
9.1 测试系统概述	(244)

9.2 测试系统的静态响应特性	(244)
9.3 测试系统的动态响应特性	(246)
9.4 典型测试系统的动态响应	(249)
习题	(253)
第 10 章 计算机化测试系统	(255)
10.1 概述	(255)
10.2 测试仪器的发展历程	(257)
10.3 计算机化测量仪器	(257)
习题	(267)
参考文献	(268)

华中科技大学出版社

绪 论

“工程测试技术基础”这门课是华中科技大学机械科学与工程学院于 20 世纪 80 年代中期开始在机电类专业普遍开设的一门专业课,内容包括:信号及描述、信号分析与处理、测试系统基本特性、常用传感器、信号调理及显示记录、信息技术的工程应用等。其核心内容就是信息的获取、传输、处理和利用。近 20 年来,教学团队在杨叔子院士教育思想的指导下,始终坚持育人育才相统一,不断创新教育模式,着力开展知识传授、能力培养和价值塑造一体化推进工作。本课程在立德树人方面着重培养学生马克思辩证唯物主义和历史唯物主义思想、探索未知追求真理的科学精神、可持续发展的工程伦理,在教学内容方面着重传授工程测试技术相关的基本理论、技术和方法,在培养实践能力方面着重科学思维训练、工程测试基本知识的创新实践应用。

本课程既是科学技术教育,也是爱国主义教育。“机械制造”专业既是经久不衰的传统专业,同时又是富有活力、与时俱进的前沿交叉专业。制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。18 世纪中叶开启工业文明以来,世界强国的兴衰史和中华民族的奋斗史一再证明,没有强大的制造业,就没有国家和民族的强盛。在制造业由机械化向自动化、数字化,乃至当今智能化的发展过程中,工程测试技术起到了举足轻重的作用。教材列举了众多中国自主研发的高科技产品与重大工程成就,如智能化机器人生产线、京东无人仓、智能数控机床、智慧建筑、智慧家居、中国超级钻机“地壳一号”、火星探测器“天问一号”、载人深潜器“奋斗者”号等,均离不开工程测试技术。这些事例极大增强了我们的民族自信心、鼓舞了我们的斗志,也将进一步推动我们在工程测试技术上的发展和进步。

本课程既是学习“系统辨识”,也是学习如何“识人”。所谓“系统辨识”,就是从系统功能上对一个系统进行了解、认识,某种意义上类似于我们在生活中去认识一个人。我们只有了解、认识了系统,才能做出正确的决策;只有认识了别人,才可能正确处理人际关系。我们要认识一个人,就要看他在相应条件下的表现,即察其言、观其行。有时候为什么会看错人?如何认识人的本质?对于这些,我们都可以从本课程所教的知识中受到启发,从而全面地、历史地去了解一个人。

0.1 测试技术的基本概念

0.1.1 测试技术的基本概念

1. 测试技术的概念

测试技术是测量和试验技术(measurement and test technique)的统称。试验是机械工程基础研究、产品设计和研发的重要环节。在现代机电设备的研发和创新设计、老产品改造及机电产品全寿命各个过程的研究中,试验研究是不可或缺的环节。在工程试验中,需要进行各种

物理量的测量,以得到准确的定量结果。当然,不仅各类工程试验需要测量,机器和生产过程的运行监测、控制和故障诊断也需要在线测量,这时,测量系统大多就是机器和生产线的重要组成部分。本书的主要内容为测量技术和仪器。

2. 测试与测量、计量的区别与联系

测量、计量和测试是三个密切相关的术语。

测量(measurement)是指以确定被测对象的量值为目的而进行的实验过程。

计量:如果测量涉及实现单位统一和量值准确可靠,则被称为计量。研究测量、保证测量统一和准确的科学被称为计量学(metrology)。

实际上,计量一词只用作某些专门术语的限定词,如计量单位、计量管理、计量标准等。所组成的新术语都与单位统一和量值准确可靠有关。测量的意义则更为广泛、普遍。

测试(measurement and test)是指具有试验性质的测量,或测量和试验的综合。

一个完整的测量过程必定涉及被测对象、计量单位、测量方法和测量误差。它们被称为测量四要素。

0.1.2 测试系统的组成

1. 测试的基本任务

测试的基本任务是获取有用的信息。信息总是蕴含在某些物理量之中,并依靠它们来进行传输。这些物理量就是信号。就具体物理性质而言,信号有电信号、光信号、力信号等。其中,电信号在变换、处理、传输和运用等方面都具有明显的优势,因而成为目前应用最广泛的信号。各种非电信号也往往先被转换成电信号,而后被传输、处理和运用。

2. 信息获取的过程

信息获取的完整过程如下所述:首先,利用传感器检测出被测对象的有关信息,然后对信息加以处理,最后将结果提供给观察者或输入其他信息处理装置、控制系统。

由此可知,测试技术是属于信息科学的范畴。测试控制技术、计算技术和通信技术合称为信息技术的三大支柱。

可以说,测试技术、测试系统在我们身边无处不在。例如:对于无人机(见图 0-1)来说,它就像人类拥有感觉器官一样,配备有 9 轴运动和方位传感器、3 轴加速度计、3 轴磁强计、3 轴陀螺仪、摄影机与温度传感器等,以实现当前状态的感知测量。



图 0-1 无人机

再如:全自动无人驾驶汽车(见图 0-2),不需要驾驶者就能自行启动、行驶,以及停止。这些车辆使用了摄像头、雷达感应器(毫米波雷达、激光雷达等)和激光测距仪来感知当前的交通状况,并且通过高精度地图、惯导系统、卫星导航系统对车辆进行定位及对行驶路线进行规划,能更迅速、更有效地对外界情况做出反应。



图 0-2 无人驾驶汽车

(图片由华南理工大学李巍华教授提供)

3. 测试系统的组成

简单的测试系统可以只有一个模块,如图 0-3 左图所示的玻璃管温度计,它直接将被测对象温度值转化为温度计液面示值,中间没有电量的转换和分析处理电路,系统较简单,但测量精度低,同时也很难实现自动化测量。为提高测量精度并实现自动化测量,工业上的测量系统通常先将测量的物理量转换为电量,然后对电信号进行处理,如图 0-3 右图所示的电子温度计。



图 0-3 温度计

一般而言,测试系统由传感器、中间变换装置和显示/记录装置三部分组成,如图 0-4 所示。测试过程中传感器将反映被测对象状态特性的物理量(如压力、加速度、温度等)检测出来,并转换为电信号,然后传输给中间变换装置;中间变换装置对接收到的电信号用硬件电路进行分析处理或经 A/D 变换后通过软件进行分析计算,再将处理结果以电信号或数字信号的方式传输给显示/记录装置;最后,显示/记录装置将结果显示出来,提供给观察者或其他自动控制装置。

传感器:能感知特定的被测物理量,并按一定规律将其转换成同一种或另一种输出信号的器件或装置。传感器通常由敏感元件和转换元件组成。敏感元件直接感受被测量,转换元件